



Escola Politècnica Superior  
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# TRABAJO FINAL DE GRADO

**TÍTULO:** Automatización de los ensayos en cámara hiperbàrica en los laboratorios del observatorio Obsea conforme la norma NF X10-812-2013

**AUTOR:** ALSAMORA BORRAZ, EMMA

**FECHA DE PRESENTACIÓN:** 1 de Junio de 2016



## RESUMEN

La cámara hiperbárica instalada en el Centro Tecnológico de Vilanova i la Geltrú se utiliza para realizar ensayos de presión a equipamiento científico que se instalaran en los observatorios submarinos Obsea.

Los ensayos se realizaban de forma manual y nació la necesidad de automatizar el proceso.

Para la automatización se ha diseñado un sistema hidráulico compuesto por electroválvulas, bombas y un sensor de presión que se controlan mediante una aplicación de control diseñada con el software LabVIEW y el dispositivo de adquisición de datos NI USB -6009.

Para el control del sistema se ha diseñado mediante Altium Designer un circuito electrónico que conecta los puertos del dispositivo USB-6009 al sistema hidráulico y permite el accionamiento de las electroválvulas y bombas y la adquisición de la presión mediante el sensor.

Se obtiene un sistema totalmente capaz de realizar correctamente y de forma automática los ensayos de presión hidrostática al equipamiento científico destinado a ser instalado bajo una profundidad máxima de 200 metros (20 bares).

### Palabras clave:

Obsea	LabVIEW	Automatización	Presión
Cámara	Hiperbárica	Prueba	Marítimo
Equipamiento	Submarino		

## ABSTRACT

The hyperbaric chamber installed at the Technology Center of Vilanova i la Geltrú is used to perform pressure tests to scientific equipment to be installed in the underwater observatories OBSEA.

The tests were executed manually and was born the need to automate the process.

For the automation it has been designed a hydraulic system consisting of valves, pumps and a pressure sensor that are controlled by a control application designed with LabVIEW software and a data acquisition device NI USB -6009.

For the control system, it has been designed using Altium Designer an electronic circuit connecting ports USB-6009 device to the hydraulic system and allows the actuation of the solenoid valves and pumps and the acquisition of pressure by the sensor.

A system fully capable of properly and automatically performing hydrostatic pressure tests to scientific equipment intended to be installed under a maximum depth of 200 meters (20 bars) is obtained.

### Keywords:

OBSEA	LabVIEW	Automation	Pressure
Chamber	Hyperbaric	Test	Marine
Equipment	Underwater		

## SUMARIO

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>8</b>
<b>2. CÁMARAS HIPERBÁRICAS .....</b>	<b>9</b>
2.1. Para investigación .....	9
2.2. Para usos militares y profesionales .....	9
2.3. Para oxigenoterapia .....	9
2.4. Para buceo .....	10
<b>3. OBSERVATORIO OBSEA .....</b>	<b>11</b>
3.1. Acerca de OBSEA .....	11
3.2. Visión general .....	11
3.2.1. Estructura .....	12
3.2.2. Sensores marinos .....	13
<b>4. NORMATIVA X10-812-2013 .....</b>	<b>15</b>
4.1. Prefacio .....	15
4.2. Alcance .....	16
4.3. Presiones hidrostáticas (recipientes metálicos) .....	17
4.3.1. Propósito .....	17
4.3.2. Elección del procedimiento de prueba .....	17
4.3.3. Severidad .....	19
4.4. Presiones hidrostáticas (recipientes fabricados en materiales termoplásticos y compuestos) .....	20
4.4.1. Propósito .....	20
4.4.2. Elección del procedimiento de prueba .....	20
4.4.3. Descripción de la prueba .....	20
4.4.3.1. Prueba de calificación .....	20
4.4.3.2. Prueba de aceptación .....	21
4.4.4. Severidad .....	22
<b>5. LABVIEW Y EL DISPOSITIVO DAQ .....</b>	<b>24</b>
5.1. LabVIEW .....	24
5.2. Entorno de LabVIEW .....	24
5.2.1. Instrumentos Virtuales .....	25
5.2.2. Panel Frontal .....	25
5.2.3. Diagrama de bloques .....	26
5.3. Programación gráfica .....	27
5.3.1. Flujo de datos .....	27
5.3.2. Tipos de datos y estructuras .....	27
5.3.3. Estructuras de ejecución .....	28

<b>5.4. El sistema DAQ .....</b>	<b>30</b>
5.4.1. El sensor .....	30
5.4.2. Dispositivo DAQ .....	30
5.4.2.1. Accionamiento de señal .....	31
5.4.2.2. Convertidor Analógico Digital (ADC) .....	31
5.4.2.3. Bus del PC .....	32
5.4.3. PC y software .....	32
<b>6. SISTEMA HIDRÁULICO .....</b>	<b>34</b>
<b>6.1. Características .....</b>	<b>34</b>
<b>6.2. Estructura .....</b>	<b>35</b>
<b>6.3. Diseño del sistema hidráulico .....</b>	<b>36</b>
<b>6.4. Funcionamiento .....</b>	<b>37</b>
6.4.1. Inicio .....	37
6.4.2. Llenado de cámara .....	38
6.4.3. Ajuste de presión .....	38
6.4.4. Presión fija .....	39
6.4.5. Vaciado de presión .....	40
6.4.6. Vaciado de cámara .....	40
6.4.7. Final .....	41
<b>7. APLICACIÓN DE CONTROL .....</b>	<b>42</b>
<b>7.1. Introducción .....</b>	<b>42</b>
7.1.1. Máquina de estados .....	42
<b>7.2. Panel frontal .....</b>	<b>43</b>
7.2.1. Control automático .....	44
7.2.1.1. Módulo 1 .....	44
7.2.1.2. Módulo 2 .....	44
7.2.1.3. Módulo 3 .....	45
7.2.1.4. Módulo 4 .....	45
7.2.1.5. Módulo 5 .....	46
7.2.1.6. Módulo 6 .....	46
7.2.1.7. Módulo 7 .....	46
7.2.1.8. Módulo 8 .....	46
7.2.1.9. Módulo 9 .....	46
7.2.2. MODULO MANUAL .....	46
7.2.2.1. Accionamiento por válvulas .....	47
7.2.2.2. Accionamiento por estados .....	47
<b>7.3. Diagrama de bloques .....</b>	<b>48</b>

7.3.1. Modo automático .....	48
7.3.1.1. Datos de prueba .....	48
7.3.1.2. Máquina de estados principal .....	49
7.3.1.2.1. Inicio .....	52
7.3.1.2.2. Llenar cámara .....	53
7.3.1.2.3. Ajustar presión .....	54
7.3.1.2.4. Mantener presión .....	55
7.3.1.2.5. Paso intermedio .....	56
7.3.1.2.6. Sacar presión .....	57
7.3.1.2.7. Vaciar cámara .....	58
7.3.1.3. Máquina de registro de datos .....	59
7.3.1.3.1. Inicio .....	60
7.3.1.3.2. Datos encabezado .....	61
7.3.1.3.3. Temporizador .....	61
7.3.2. Control Manual .....	63
7.3.2.1. Accionamiento por válvulas .....	63
7.3.2.2. Accionamiento por estados .....	64
<b>8. SISTEMA DE CONTROL .....</b>	<b>65</b>
<b>8.1. El PC y software .....</b>	<b>65</b>
<b>8.2. El dispositivo NI USB-6009 .....</b>	<b>65</b>
<b>8.3. El sistema hidráulico .....</b>	<b>66</b>
<b>8.4. La placa electrónica .....</b>	<b>66</b>
8.4.1. Componentes electrónicos .....	67
8.4.1.1. Regletas clema o bornera .....	67
8.4.1.2. Relés .....	67
8.4.1.3. Leds y resistencias .....	68
8.4.1.4. ULN 2003a .....	69
8.4.2. Esquema eléctrico .....	69
8.4.2.1. Conexión fuente de alimentación .....	70
8.4.2.2. Conexión USB-6009 – Electroválvulas .....	70
8.4.2.3. Conexión USB-6009 – Bombas .....	71
8.4.2.4. Conexión USB-6009 – Leds .....	72
8.4.2.5. Conexión USB-6009 – Sensores .....	73
8.4.3. Montaje de la placa .....	73
<b>9. CONCLUSIONES .....</b>	<b>76</b>
<b>10. AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>89</b>
<b>11. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>79</b>

## SUMARIO DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Observatorio Obsea	13
<b>Figura 2:</b> Ventana del panel frontal LabVIEW	25
<b>Figura 3:</b> Ventana del diagrama de bloques LabVIEW	26
<b>Figura 4:</b> Partes de un sistema DAQ	30
<b>Figura 5:</b> Dispositivo DAQ	31
<b>Figura 6:</b> Comunicación LabVIEW con DAQAssistant	32
<b>Figura 7:</b> Comunicación DAQAssistant con LabVIEW	33
<b>Figura 8:</b> Cámara hiperbárica	34
<b>Figura 9:</b> Dibujo del sistema hidráulico	35
<b>Figura 10:</b> Instalación electroválvulas	36
<b>Figura 11:</b> Posición electroválvula	37
<b>Figura 12:</b> Estado de inicio/final	38
<b>Figura 13:</b> Estado de llenado	38
<b>Figura 14:</b> Estado ajuste presión	39
<b>Figura 15:</b> Estado presión fija	39
<b>Figura 16:</b> Estado vaciado presión	40
<b>Figura 17:</b> Estado vaciado cámara	40
<b>Figura 18:</b> Diagrama máquina de estados principal	43
<b>Figura 19:</b> Panel frontal modo automático	44
<b>Figura 20:</b> Control modo automático según normativa	45
<b>Figura 21:</b> Control modo automático a medida	45
<b>Figura 22:</b> Control modo manual por válvulas	47
<b>Figura 23:</b> Control modo manual por estados	47
<b>Figura 14:</b> Control automático datos de prueba a medida	48
<b>Figura 25:</b> Control automático datos de prueba según norma	49
<b>Figura 26:</b> Nodos de entrada máquina de estados principal	50
<b>Figura 27:</b> Nodos de salida máquina de estados principal	51
<b>Figura 28:</b> Función LabVIEW bundle	51
<b>Figura 29:</b> Función LabVIEW unbundle	51
<b>Figura 30:</b> Estado inicio máquina de estados principal	52
<b>Figura 31:</b> Estado llenar cámara máquina de estados principal	53
<b>Figura 32:</b> Estado ajuste presión máquina de estados principal	54
<b>Figura 33:</b> Estado mantener presión máquina de estados principal	55
<b>Figura 34:</b> Estado paso intermedio cámara máquina de estados principal	56
<b>Figura 32:</b> Estado sacar presión máquina de estados principal	57



<b>Figura 36:</b> Estado vaciar cámara máquina de estados principal	58
<b>Figura 37:</b> Estado final máquina de estados principal	59
<b>Figura 38:</b> Estado inicio máquina de registro de datos	60
<b>Figura 39:</b> Estado datos encabezado máquina de registro de datos	61
<b>Figura 40:</b> Estado temporizador máquina de registro de datos	61
<b>Figura 41:</b> Estado registro de datos máquina de registro de datos	62
<b>Figura 42:</b> Ejemplo archivo registro de datos	62
<b>Figura 43:</b> Obtención valor de presión	63
<b>Figura 44:</b> Modo manual accionamiento por válvulas	63
<b>Figura 45:</b> Modo manual accionamiento por estados	64
<b>Figura 46:</b> Esquema sistema de control	65
<b>Figura 47:</b> Sensor de presión	66
<b>Figura 48:</b> Bornera de tres vías	67
<b>Figura 49:</b> Circuito interno y componente Finder 40.52s	68
<b>Figura 50:</b> Circuito interno y componente Finder 30.22.7.012.0010	68
<b>Figura 51:</b> Circuito interno chip ULN2003a	69
<b>Figura 52:</b> Schematic circuito electrónico	70
<b>Figura 53:</b> Esquema conexión electroválvulas	71
<b>Figura 54:</b> Esquema conexión bombas	72
<b>Figura 55:</b> Circuito PCB de la placa diseñada	73
<b>Figura 56:</b> Placa electrónica diseñada	74
<b>Figura 57:</b> Sistema de control	74
<b>Figura 58:</b> Gráfico prueba de presión	75

## SUMARIO DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Relación inmersión/presión	18
<b>Tabla 2:</b> Severidad para prueba de presión hidrostática – Recipientes metálicos clase B	19
<b>Tabla 3:</b> Severidad para una prueba de presión hidrostática – Materiales termoplásticos y compuestos de Clase B o C	22
<b>Tabla 4:</b> Tipo de datos y estructuras en LabVIEW	28
<b>Tabla 5:</b> Tipo de estructuras de ejecución en LabVIEW	29
<b>Tabla 6:</b> Características de la cámara hiperbárica	34

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente los ensayos de presión hidrostática realizados al equipamiento científico a instalar en los observatorios submarinos Obsea se ejecutan en una cámara hiperbárica controlada manualmente por un operario.

El control de la cámara se realiza mediante la activación manual de llaves de paso y bomba de agua para conseguir simular la presión que soporta un equipo al ser sumergido en el agua a cierta profundidad.

El objetivo principal del proyecto es el diseño y montaje de un nuevo sistema hidráulico, eléctrico y de control que permita automatizar desde un ordenador la realización de ensayos conforme a la norma NF X10-812-20013 “Marine environment underwater equipment – Environment tests and recommendations”.

Para ello será importante la familiarización y aprendizaje del funcionamiento de la cámara hiperbárica para poder seleccionar adecuadamente los elementos necesarios (conjunto de electroválvulas) que permitan un control remoto del llenado y vaciado de la cámara.

El diseño del sistema de control consistirá en la selección de elementos para actuar sobre las electroválvulas y realizar una monitorización del estado de las mismas, la adquisición de datos de presión hidrostática de la cámara y la elección del algoritmo de control.

Para automatizar las maniobras de la cámara se pretende diseñar una aplicación de control en lenguaje de programación LabVIEW.

Con este proyecto de final de carrera se pretende disminuir considerablemente el tiempo que el técnico invierte en la realización de la prueba de presión al equipamiento marítimo. Además de la posibilidad de poderle realizar pruebas más complejas que sin la automatización del proceso no sería posible. Con la automatización del proceso también se pretende llevar un registro de todas las pruebas realizadas y así llevar un control.

Se desea obtener como resultado final un sistema de control que permita realizar de modo automático los ensayos de presión hidrostática al equipamiento científico de forma fácil y efectiva, respetando y cumpliendo la norma NF X10-812-2013.

## **2. LAS CÁMARAS HIPERBÁRICAS**

Una cámara hiperbárica es un recipiente hermético normalmente cilíndrico, provisto de una serie de sistemas y accesorios que permiten el aumento controlado de la presión. Dentro de la cámara se presuriza con aire, oxígeno o agua para simular una profundidad determinada. Según el fin se utiliza tanto en personas, animales u objetos.

Se usan cámaras hiperbáricas para diversas aplicaciones, actualmente las más extendidas son en investigación, para usos militares y profesionales, para oxigenoterapia y para buceo.

### **2.1. Para investigación**

Estas cámaras se utilizan para Universidades, Centros de Investigación y Hospitales. Están orientadas a facilitar un equipo de prueba a escala reducida.

### **2.2. Para usos militares y profesionales**

Construidas en alineación amagnética para aplicación en buques cazaminas o en acero para el resto de barcos y unidades móviles. Estas cámaras están dotadas de acoplamiento para cartuchos hiperbáricos homologados por la OTAN y/o de una instalación de gases respirables.

### **2.3. Para oxigenoterapia**

Diseñadas para la OHB (Oxigenación Hiperbárica) se fabrican en acero, acrílico y hormigón. Hay cámaras monoplazas y multiplaza.

La OHB es un método de tratamiento de la medicina, el que consiste en hacer respirar al paciente oxígeno al 100% bajo presión, entre 1,5 a 3 atmósferas absolutas (ATA).

El oxígeno es subministrado en la Cámara Hiperbárica y al combinar presión y oxígeno, se generan toda una serie de efectos físicos y fisiológicos beneficios de gran aplicación en un número cada vez mayor de enfermedades.

## **2.4. Para buceo**

Estas son las normalmente usadas por las empresas de trabajos submarinos, clubes de buceo y en centros de Formación Profesional.

Si al bucear se produjera una reducción brusca de la presión o se omitiera una parada de descompresión se desarrollaría en el buzo la enfermedad de descompresión. El tratamiento entonces es la urgente recompresión en una cámara hiperbárica.

Adaptadas para instalaciones fijas en tierra y también en barcos, contenedores y remolques.

### **3. OBSERVATORIO OBSEA**

En la cámara que se automatiza en este proyecto se realizan los ensayos de presión hidrostática al equipamiento científico que será utilizado en el observatorio submarino Obsea. Obsea es uno de los proyectos que lleva el grupo SARTI.

El Centro de Desarrollo Tecnológico de Sistemas de Adquisición Remota y Tratamiento de la Información (Centro SARTI) es un grupo de investigación de la UPC que forma parte de la Red de Centros de Apoyo a la Innovación Tecnológica del CIDEM (Red IT). El Centro SARTI está formado por un equipo multidisciplinar que incluye miembros de diferentes departamentos de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). Es Unidad Asociada al Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera, del Instituto de Ciencias del Mar y la Unidad de Tecnología Marina del CSIC.

#### **3.1. Acerca de OBSEA**

OBSEA forma parte de la Red ESONET (European Seas Observatory NETwork) y del proyecto EMSO (European Multidisciplinary Seafloor Observatory), y cuenta con la participación activa de la Unidad de Tecnología Marina del Consejo Superior de Investigaciones Científicas y la financiación del Ministerio de Ciencia e Innovación.

La investigación marina requiere cada día más información medioambiental, con mejores resoluciones temporales y series más largas. Los métodos tradicionales no son adecuados por ecosistemas marinos con dinámicas muy lentas, con la adquisición continua de datos durante largos periodos es posible detectar cambios climáticos a la vez que acontecimientos singulares.

El OBSEA es un observatorio submarino cableado a unos 4 km de la costa de Vilanova i la Geltrú a la zona protegida de pesca, e interconectado a la costa por un cable mixto de energía y comunicaciones.

#### **3.2. Visión general**

La ventaja principal de disponer de un observatorio cableado es la de poder proporcionar energía a los instrumentos científicos y disponer de un enlace de comunicación de banda ancha. De este modo se puede tener información en tiempo real y se evitan los

inconvenientes de los sistemas alimentados con baterías. La solución adoptada es la implementación de una red Ethernet óptica que transmite continuamente los datos de los instrumentos oceanográficos conectados al observatorio.

Con el OBSEA se puede realizar una observación en tiempo real de múltiples parámetros del medio marino. Desde la estación terrestre se proporciona la alimentación por los dispositivos y el enlace de fibra óptica por las comunicaciones a la vez que se hace la gestión de alarmas y se almacenan los datos. Con un tramo de unos 1000 metros de cable terrestre se conecta con la arqueta de anclaje, punto donde el cable submarino inicia su recorrido hasta la ubicación del nodo a unos 4 km de la costa y a unos 20 metros de profundidad.

La boya es una extensión del observatorio OBSEA que funciona como una plataforma útil para realizar medidas oceanográficas y de parámetros ambientales, siendo además un banco de pruebas para sensores marinos y equipamientos e instrumentos oceanográficos donde se aprovechan las ventajas de la infraestructura y la conectividad del OBSEA. La boya está ubicada a 40m del observatorio submarino OBSEA, y está sujeta con tres anclas de 1200 kg que se unen a la boya mediante cadenas. Los enlaces de comunicación entre la Estación de Tierra y la boya se realizan mediante una conexión 3G. Con el sistema de telemetría y un conjunto de sensores, la boya de SARTI facilita la obtención de medidas oceanográficas remotas.

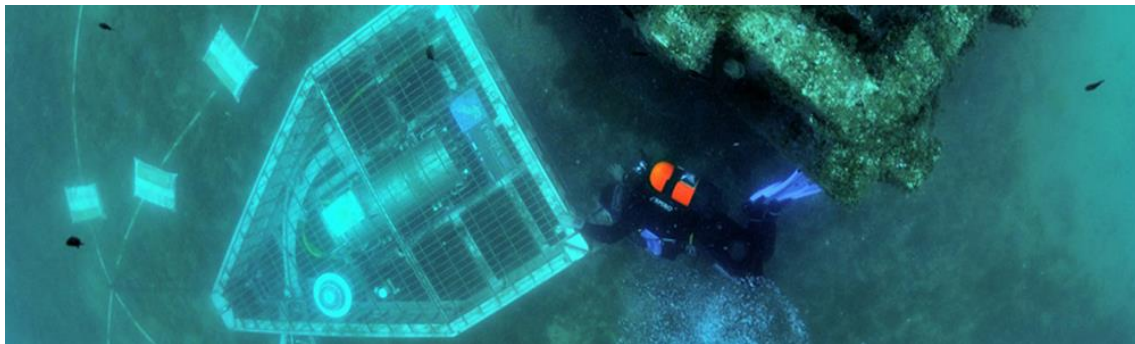
El sistema electrónico es flexible y permite aumentar o sustituir los tipos de instrumentos y sensores que se quieran instalar. Actualmente se cuenta con una estación meteorológica que mide distintos parámetros externos como la velocidad del viento, la temperatura, y los movimientos de cabeceo y balanceo (Pitch & Roll) de la boya. Además, se dispone de una cámara de vídeo IP y un sistema de seguimiento por GPS para detectar la posición de la boya.

En la estación terrestre, ubicada en las instalaciones del Centro Tecnológico de Vilanova i la Geltrú se dispone de otra estación meteorológica que mide y registra regularmente diversas variables meteorológicas.

### **3.2.1. Estructura**

La estructura de soporte se ha diseñado para mantener los diversos elementos fijos y protegidos de posibles intervenciones externas. A la vez esta estructura soportará la tracción que pueda generar el cable submarino por la fuerza de las corrientes. En esta estructura se ubica el cilindro principal el cual contendrá la electrónica de control del

observatorio submarino. Este cilindro ha estado diseñado para soportar la presión existente a 300 metros de profundidad, y proporcionará la interfaz entre el cable submarino y los diversos instrumentos oceanográficos conectados al observatorio. El cable submarino que se utiliza es un cable de telecomunicaciones que ha sido donado por Telefónica el cual está compuesto de 6 fibras ópticas monomodo para la transmisión de datos y dos tubos conductores para la transmisión de energía eléctrica. Este cable hace de cordón umbilical entre la estación de tierra y el nodo sumergido permitiendo la transmisión continua de la información generada y el suministro de la energía para su funcionamiento.



**Figura 1:** Observatorio Obsea

### **3.2.2. Sensores marinos**

La boya dispone de una cámara de video vigilancia y de una estación meteorológica con GPS que mide dirección del viento, velocidad del viento, presión barométrica, temperatura del aire, entre otros parámetros.

El instrumento CTD registra, a diferentes intervalos de muestreo, la temperatura, salinidad y presión, proporcionando información sobre los flujos y mezclas y sus variaciones estacionales.

Un hidrófono de banda ancha (de 7 Hz a 100 kHz) caracteriza acústicamente el ruido ambiental y discrimina las señales coherentes de fuentes naturales a las señales antropogénicas.

Una cámara video proporciona imágenes en tiempo real permitiendo la vigilancia de la plataforma, y mostrando imágenes de la fauna en el entorno de la plataforma.

El correntómetro AWAC es un perfilador de corrientes y un sistema para medir las olas. Permite medir la velocidad y la dirección del agua en distintas capas, desde el fondo marino hasta la superficie. Se pueden medir olas de todo tipo, largas, de tormenta, olas cortas de viento, o las olas transitorias generadas por el tránsito marítimo local.



Para obtener información sobre la evolución de la acidificación del agua de mar se ha desarrollado un sensor de pH conectado permanente al observatorio. El instrumento se ha construido a partir de un sensor de pH industrial Honeywell Durafet 07777DVP , que se ha conectado al CTD16.

Para obtener información sobre la evolución de la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera se ha diseñado una estación automatizada en la zona de Vilanova i la Geltrú. El sistema de medida se basa en la utilización de un equipo para medida de CO<sub>2</sub>, el LICOR 820.

Para detectar cualquier movimiento tectónico alrededor del mundo se utiliza un sismómetro de banda ancha. Los movimientos se referencian a una base temporal universal (GPS) que permite comparar y verificar datos a nivel mundial (gracias a la utilización del protocolo de sincronización IEEE-1588). El equipo está formado por un Trillium 120P/PA conjuntamente con el sistema de adquisición Taurus, un sismómetro comercial terrestre acondicionado para su ubicación submarina mediante una carcasa estanca.

## **4. Norma NF X 10-812-2013**

Nombre completo: Norma NF X 10-812 del 1 de Junio de 2013 “Marine environment- Underwater equipment – Enviroment tests and recomendations”.

La automatización de la cámara hiperbárica que se lleva a cabo en este proyecto se ha realizado conforme esta norma.

Se han calificado los equipos que se prueban en la cámara como de clase B, de media robustez.

También se ha considerado conveniente que las pruebas que se deben llevar a cabo, según el uso y características de los equipos que son probados en la cámara, son las de presión hidrostática para recipientes metálicos y las de presión hidrostática para recipientes fabricados de materiales termoplásticos y compuestos.

La norma ha sido traducida del inglés y solo se presentan los apartados que se consideran convenientes. Se han omitido los apartados sin relación al proyecto.

### **4.1. Prefacio**

El comprador o diseñador del equipo oceanográfico o instrumentos ha de ser capaz de estipular sus requerimientos en términos de metrología, operación y capacidad para soportar condiciones ambientales.

También la metrología y los requerimientos operacionales deben estar correctamente estipulados, las especificaciones a veces no son suficiente precisas en términos de capacidad para soportar las difíciles condiciones específicas para el ambiente marino.

El análisis del perfil de vida del equipo oceanográfico e instrumentos ha mostrado claramente que son muy similares. Por ello, es actualmente posible considerar la elaboración de un programa de prueba estándar para material oceanográfico.

El método utilizado para analizar el perfil de vida del equipo y para diseñar una serie de pruebas debería estar definido caso por caso.

Según el nivel requerido de robustez, hay tres clases de equipos:

- Clase A para el requerimiento de una alta robustez.
- Clase B para el requerimiento de una robustez media.
- Clase C para el requerimiento de una baja robustez.

Para un entorno simulado dado, los niveles de prueba variarán según la clase del equipo.

Las diferentes clases también pueden corresponder a

- extremo, real, ambientes conocidos en los que el equipo se utilizará (regiones muy frías, por ejemplo);
- requisitos deliberadamente escogidos de acuerdo con la confidencialidad que el autor de las especificaciones tiene con respecto a las capacidades del fabricante para fabricar el equipo con el mismo grado de calidad.

El autor de las especificaciones puede, para un elemento del equipo, escoger diferentes clases según el ambiente.

Las especificaciones de la prueba presentadas en esta guía se pueden considerar una propuesta para un programa de pruebas estándar mínimo.

Sin embargo, la definición del programa de pruebas requiere la responsabilidad del autor de las especificaciones quien debe incluir toda o parte de las pruebas propuestas en esto, como también otras pruebas, si fuera necesario.

## **4.2. Alcance**

Esta guía establece las condiciones de operación para el equipo oceanográfico (para debajo del agua) e instrumentos y define las correspondientes condiciones agresivas que se deben tener en cuenta para asegurarse que el equipo es capaz de resistir el ambiente marino.

Para este tipo de equipos, este documento establece el ciclo de vida estándar de referencia, el correspondiente tipo y nivel de agresión, las pruebas que se deben realizar y las recomendaciones que se deben tener en cuenta.

El equipo e instrumentos recubiertos incluyen esos que pueden ser operados inmersos en agua de mar y, por extensión, en lagos de agua dulce, lagunas, embalses, cursos de agua. Este equipo y estos instrumentos pueden ser instalados en vehículos marinos (barcos, boyas, órganos de arrastre, sumergibles, líneas de amarre). Vehículos no tripulados y buques de transporte pueden ser incluidos en el alcance de esta guía.

Sin embargo, los vehículos tripulados no entran dentro del alcance de esta guía.

Esta guía está destinada a equipos preferiblemente producidos en largas o pequeñas series de producción. Sin embargo, puede ser utilizada para una única unidad de producciones, si está económicamente justificado.

Las siguientes condiciones extremas han sido excluidas del alcance de este documento:

- temperaturas muy altas (volcanes submarinos o dentro de las chimeneas hidrotermales submarinas, etc.);
- choques producidos por explosiones (o implosiones) submarinas.
- Frecuencias vibratorias muy elevadas.
- Ambientes con una electromagnetidad muy elevada y radiación acústica.
- Ambientes químicamente agresivos (presencia de sulfatos, aguas muy acidas, etc.).

El equipo involucrado debe, en algunas ocasiones, estar sometido a estas condiciones ambientales extremas. En este caso, deben someterse a pruebas adicionales, la gravedad de las cuales está definida y adaptada de antemano.

### **4.3. Presiones hidrostáticas (recipientes metálicos).**

#### **4.3.1. Propósito**

Para asegurar que un recipiente metálico tiene la presión máxima de servicio requerida, en términos de fuerza mecánica y estanqueidad.

#### **4.3.2. Elección del procedimiento de la prueba**

Dos tipos de pruebas son descritas debajo:

- La prueba de calificación está destinada a calificar, aceptar cualquier nuevo equipo diseñado para ser usado en grandes profundidades o cualquier equipo ya cualificado pero haber sido sometido a modificaciones significativas;
- la prueba de aceptación está destinada a aceptar cualquier nuevo equipo idéntico al ya cualificado o cualquier material que se vuelva a utilizar después de un largo periodo de no-uso.
- También el usuario expresa una máxima profundidad de uso de forma menos técnica, el diseñador y el ingeniero que realiza la prueba más frecuentemente emplean términos de presión. La correspondencia entre estos dos valores se pueden establecer con la siguiente formula:

$$P = 0,101 H + 0,5 \cdot 10^{-6} H^2$$

dónde

P Presión en bares (1 bar =  $10^5$  Pa);

$H$  Profundidad en metros.

Esta fórmula aproximada, suficiente para este propósito, nos da las siguientes relaciones:

$H$ (m)	$P$ (bares)	$P$ (Pa)
1000	102	$1.2 \cdot 10^6$
1500	153	$15.3 \cdot 10^6$
2000	204	$20.4 \cdot 10^6$
2500	256	$25.6 \cdot 10^6$
3000	308	$30.8 \cdot 10^6$
3500	360	$36 \cdot 10^6$
4000	412	$41.2 \cdot 10^6$
4500	465	$46.5 \cdot 10^6$
5000	518	$51.8 \cdot 10^6$
5500	571	$57.1 \cdot 10^6$
6000	624	$62.4 \cdot 10^6$

**Tabla 1:** Relación inmersión/presión

Pruebas de calificación:

- Verificación de las actuaciones indicadas por el fabricante:

Pruebas a una presión de prueba de  $P_e$  igual a  $k$  veces la presión máxima de operación  $P_s$  y a una temperatura igual a la temperatura mínima de operación  $T_s$ .

- Resistencia a ciclos de presión.

Actuaciones de ciclos de presión, a temperatura ambiente, con cada ciclo consistiendo de una medida a la presión máxima de operación  $P_s$  y una medida a la presión atmosférica.

Prueba de aceptación:

- Prueba a la presión de prueba  $P_e$  igual a  $k$  veces la presión de operación  $P_s$  y a temperatura ambiente.

#### 4.3.3. Severidad

La severidad consiste en los siguientes parámetros:

- Velocidad de presurización/despresurización;
- el coeficiente  $k$  aplicado a la presión  $P_s$  para obtener la presión de prueba  $P_e$ ;
- la temperatura de prueba  $T_e$ ;
- duración de los ciclos de presión;
- número de ciclos.

	Severidad				
	Velocidad de presurización/despresurización	Presión de prueba	Temperatura de prueba	Duración	Número de ciclos
<b>Pruebas de calificación:</b>					
Verificación de las actuaciones indicadas por el fabricante:	12 bares/min	$P_e = 1.2 P_s$	$T_e = T_s$	8 h	1
Resistencia a los ciclos de presión:	12 bares/min	$P_e = P_s$	$T_{\text{ambiente}}$	1 h a $P_e$ 1 h a $P_{\text{atm}}$	10
<b>Prueba de aceptación:</b>	12 bares/min	$P_e = 1.2 P_s$	$T_{\text{ambiente}}$	1h	1

**Tabla 2:** Severidad para prueba de presión hidrostática – Recipientes metálicos clase B

#### **4.4. Presiones hidrostáticas (recipientes hechos de materiales termoplásticos y compuestos)**

##### **4.4.1. Propósito**

Para asegurar que un recipiente hecho de plástico termoendurecible con (vidrio o carbón) fibras o resina termoplástica sin fibras tiene un lapso de vida suficientemente largo a una presión de operación máxima con respecto a su resistencia mecánica y a su estanqueidad.

##### **4.4.2. Elección del procedimiento de la prueba**

Dos tipos de pruebas son descritas debajo:

- La prueba de calificación está destinada a calificar, aceptar cualquier nuevo equipo diseñado para ser usado en grandes profundidades o cualquier equipo ya cualificado pero haber sido sometido a modificaciones significativas;
- la prueba de aceptación está destinada a aceptar cualquier nuevo equipo idéntico al ya cualificado o cualquier material que se vuelva a utilizar después de un largo periodo de no-uso.
- También el usuario expresa una máxima profundidad de uso de forma menos técnica, el diseñador y el ingeniero que realiza la prueba más frecuentemente emplean términos de presión. La correspondencia entre estos dos valores se pueden establecer con la siguiente formula:

$$P = 0,101 H + 0,5 \cdot 10^{-6} H^2$$

dónde

$P$  Presión en bares (1 bar =  $10^5$  Pa);

$H$  Profundidad en metros.

##### **4.4.3. Descripción de la prueba**

###### *4.4.3.1. Pruebas de calificación*

El equipo destinado a una prueba de calificación de presión hidrostática está sujeto previamente a una prueba no-destructiva de ultrasonido para evaluar la proporción/fracción de huecos del equipo.

Un trozo del material del recipiente, típicamente un anillo del recipiente si este tiene forma cilíndrica, es muestreado del recipiente para calificar y analizar para construir una referencia de conformidad para recipientes idénticos producidos después. Los datos de este análisis principalmente implican el porcentaje de fibras y el ángulo de envoltura de estas fibras.

El recipiente a ser calificado está equipado con medidores de deformación posicionado como para medir cualquier deformación que ocurra bajo presión. Por ejemplo, para un cilindro, un mínimo de tres medidores bidireccionales deben estar posicionados a 120° en una sección del recipiente situado a una misma distancia de los extremos. La variación en el volumen interno del recipiente también es medido durante la prueba de presión. Por ello, el recipiente es llenado con líquido. Este líquido es mantenido a una presión atmosférica por un tubo que conecta el interior del recipiente de prueba al exterior de la instalación de prueba, y es expulsado bajo tensión y su volumen es cuantificado.

La primera prueba, llamada la prueba de resistencia a presión, es conducida a una presión mayor que la presión de operación e incluye una prueba de verificación de las actuaciones indicadas por el fabricante y ciclos de presión. Ayuda a determinar el nivel de deformación alcanzado. La segunda prueba, una prueba de fluencia, es conducida a una presión menor, pero para una mayor duración. Entre la prueba de resistencia a presión y la prueba de fluencia, un periodo de descanso de 24 a presión atmosférica está especificado.

Una extrapolación de los cambios en la deformación medida en la prueba de fluencia informa en cuanto al tiempo necesario para que el recipiente alcance el nivel de deformación medido en la primera prueba y evalúa la esperanza de vida del recipiente a esta presión.

Así, en contraste al test de calificación para un recipiente metálico, un recipiente termoplástico o plástico termoestable que se somete la prueba descrita anteriormente, no a una presión de operación dada, pero por un periodo de tiempo a esta presión de operación máxima.

#### *4.4.3.2. Prueba de aceptación*

El equipo destinado a una prueba de aceptación de presión hidrostática está sujeto previamente a una prueba no-destructiva para evaluar el porcentaje de espacio hueco y para compararlo con eso medido en un recipiente idéntico previamente calificado.



Un trozo del material, típicamente un anillo del recipiente si este tiene forma cilíndrica, es muestreado del recipiente de prueba y analizado para comparar con los datos de la muestra tomada en el idéntico, previamente recipiente calificado.

El test de aceptación bajo presión se lleva a cabo a una presión mayor que la presión de operación. El factor de multiplicación depende de la clase de material

#### 4.4.4. Severidad

La severidad consiste en los siguientes parámetros:

- Velocidad de presurización/despresurización
- el coeficiente  $k$  aplicado a la presión  $P_s$  para obtener la presión de prueba  $P_e$ ;
- la temperatura de prueba  $T_e$ ;
- duración de los ciclos de presión;
- número de ciclos.

	Severidad				
	Velocidad de presurización/despresurización	Presión de prueba	Temperatura de prueba	Duración	Número de ciclos
<b>Pruebas de calificación:</b>					
PRUEBA DE RESITENCIA					
Verificación de las actuaciones indicadas por el fabricante:	12 bares/min	$P_e = 1.2 P_s$	$T_{\text{ambiente}}$	8 h	1
Resistencia a los ciclos de presión:	12 bares/min	$P_e = P_s$	$T_{\text{ambiente}}$	1 h a $P_e$ 1 h a $P_{\text{atm}}$	10

Automatización de los ensayos en cámara hiperbárica en los laboratorios del observatorio Obsea conforme la norma NF X10-812-2013  
 Alsamora Borraz, Emma

Descanso		$P_{atm}$	$T_{ambiente}$	24 h	
PRUEBA DE FLUENCIA	12 bares/min	$P_e = 1.1$ $P_s$	$T_{ambiente}$	96 h	1
<b>Prueba de aceptación:</b>	12 bares/min	$P_e = 1.2$ $P_s$	$T_{ambiente}$	1h	1

**Tabla 3:** Severidad para una prueba de presión hidrostática – Materiales termoplásticos y compuestos de Clase B o C

## **5. LABVIEW Y DAQ**

Para la implementación del programa que automatiza el control del sistema de la cámara hiperbárica se ha utilizado el software LabVIEW de National Instruments (NI) y el dispositivo para la adquisición de datos DAQ.

### **5.1. LabVIEW**

LabVIEW (acrónimo de Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) es un entorno de desarrollo diseñado específicamente para acelerar la productividad de ingenieros y científicos, con una sintaxis de programación gráfica que facilita visualizar, crear y codificar sistemas de ingeniería. El lenguaje que usa se llama lenguaje G.

LabVIEW es un entorno de programación flexible que tiene muchas áreas de aplicación. Algunas de estas áreas son adquirir datos y procesar señales, controlar instrumentos, automatizar sistemas de prueba y validación y diseñar sistemas embebidos de monitoreo y control.

Las características más destacables que hacen que la plataforma de programación LabVIEW sea idónea para el desarrollo de la aplicación son:

- Ser un lenguaje que incrementa la productividad al abstraer la complejidad de bajo nivel y al integrar toda la tecnología que se necesita en un solo entorno de desarrollo unificado.
- Integración con casi cualquier hardware en un solo entorno y ayuda a ahorrar tiempo de desarrollo con características apropiadas y estructura de programación consistente. Perfecta integración en múltiples tipos de instrumentos, buses y sensores.
- Gran portabilidad en las aplicaciones desarrolladas pudiéndose ejecutar en cualquier ordenador.

### **5.2. Entorno de LabVIEW**

#### **5.2.1. Instrumentos Virtuales (VIs)**

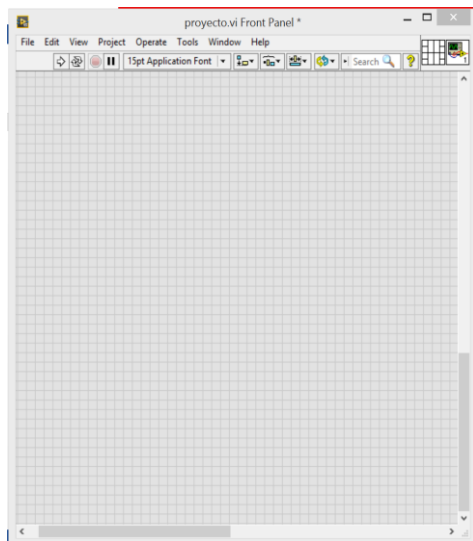
Los programas de LabVIEW son llamados instrumentos virtuales o VIs ya que su apariencia y operación imitan a los instrumentos físicos, como osciloscopios y

multímetros. LabVIEW contiene una extensa variedad de herramientas para adquirir, analizar, visualizar y almacenar datos, así como herramientas para ayudarle a solucionar problemas en el código que escriba.

Cuando se crea un nuevo VI, ve dos ventanas: la ventana del panel frontal y el diagrama de bloques.

### 5.2.2. Panel Frontal

Cuando se abre un VI nuevo o existente, aparece la ventana del panel frontal del VI. La ventana del panel frontal es la interfaz de usuario para el VI.



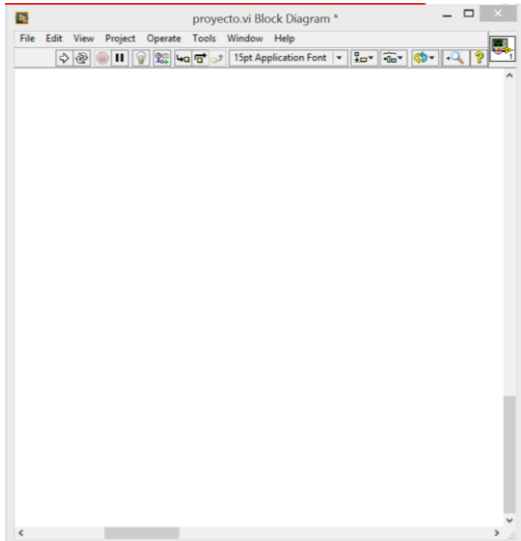
**Figura 2:** Ventana del panel frontal LabVIEW

El panel frontal se crea con controladores e indicadores, los cuales son los terminales interactivos de entrada y salida del VI, respectivamente. Los controles pueden ser perillas, botones, barras deslizantes y otros dispositivos de entrada. Los indicadores son gráficas, leds y otras pantallas. Los controles simulan dispositivos de entrada de instrumentos y suministran datos al diagrama de bloques del VI. Los indicadores simulan dispositivos de salida de instrumentos y muestran los datos que el diagrama de bloques adquiere o genera.

Cada control o indicador tiene un tipo de datos asociado con él. Los tipos de datos utilizados con mayor frecuencia son numéricos, valor Booleano y cadena de caracteres.

### 5.2.3. Diagrama de Bloques

Los objetos del diagrama de bloques incluyen terminales, subVIs, funciones, constantes, estructuras y cables, los cuales transfieren datos junto con otros objetos del diagrama de bloques.



**Figura 3:** Ventana del diagrama de bloques LabVIEW

Después de crear la ventana del panel frontal, se añade código usando representaciones gráficas de funciones para controlar los objetos del panel frontal. La ventana del diagrama de bloques contiene este código de fuente gráfica.

Los objetos en la ventana del panel frontal aparecen como terminales en el diagrama de bloques. Los terminales son puertos de entrada y salida que intercambian información entre el panel frontal y diagrama de bloques. Las terminales son análogos a parámetros y constantes en lenguajes de programación basados en texto.

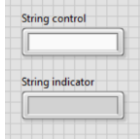
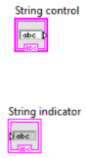
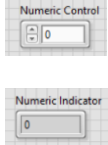
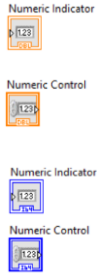
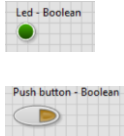
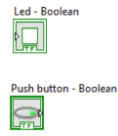
Los tipos de terminales incluyen terminales de control o indicador y terminales de nodo. Las terminales de control e indicador pertenecen a los controles e indicadores del panel frontal. Los datos que se proporcionan en los controles del panel frontal pasan al diagrama de bloques a través de las terminales de control.



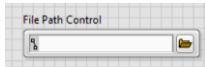

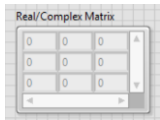

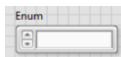

## 5.3. Programación gráfica

### 5.3.1. Flujo de Datos

LabVIEW sigue un modelo de flujo de datos para ejecutar VIs. Un nodo de diagrama de bloques se ejecuta cuando recibe todas las entradas requeridas. Cuando el nodo se ejecuta, produce datos de salida y pasa los datos al siguiente nodo en la trayectoria del flujo de datos. El movimiento de datos a través de los nodos determina el orden de ejecución de los VIs y las funciones en el diagrama de bloques. En el flujo de control, el orden secuencial de los elementos del programa determina el orden de ejecución de un programa.

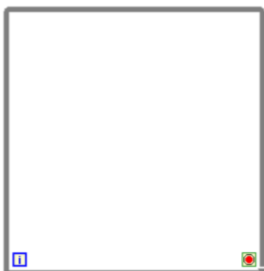
### 5.3.2. Tipos de datos y estructuras

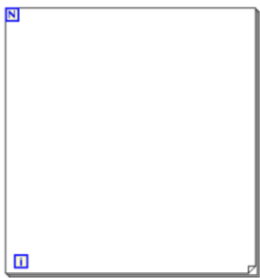
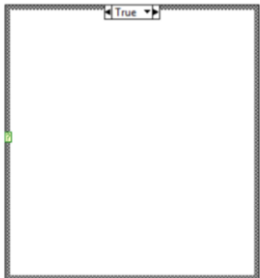
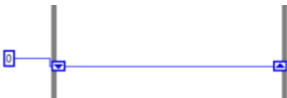

Dato	Descripción	Objetos panel frontal	Terminales
Strings	Los strings son cadenas de caracteres, una secuencia de caracteres ASCII visibles o no visible.		
Dato Numérico	Datos numéricos de todo tipo. La diferencia entre los tipos de datos numéricos es el número de bits que usan para almacenar datos y los valores de datos que representan.		
Booleano	Introducen y visualizan valores booleanos que se almacenan en 8 bits. Si el valor es cero, el booleano es FALSE (FALSO). Cualquier valor diferente a cero representa TRUE (VERDADERO).		

Clusters	Agrupar datos relacionados, combinan datos de múltiples tipos de datos en una estructura de datos.		
Paths	Indican rutas relativas o absolutas en directorios o archivos tanto de máquina local como de otra red.		
Matrices	Conjunto de datos ordenados en filas y columnas y de un tipo determinado.		
Enum	Combinación de tipos de datos que representa un par de valores, una cadena de caracteres y un valor numérico, donde el enum puede ser uno de una lista de valores.		

**Tabla 4:** Tipo de datos y estructuras en LabVIEW

### 5.3.3. Estructuras de ejecución

Estructura	Descripción	Diagrama de bloques
While	El Ciclo While ejecuta el código que contiene hasta la Conditional Terminal, una terminal de entrada, recibe un valor Booleano específico.	

For	<p>Un Ciclo For ejecuta un subdiagrama un número de veces establecido.</p> <p>La terminal Loop Count es una terminal de entrada cuyos valores indican cuantas veces se repite el subdiagrama.</p>	
Case	<p>Una estructura de Casos tiene dos o más subdiagramas o casos. Solamente un subdiagrama es visible a la vez y la estructura ejecuta solamente un caso a la vez. Un valor de entrada determina que subdiagrama se ejecuta.</p>	
Shift register	<p>Los registros de desplazamiento se usan cuando se quiere pasar valores de iteraciones anteriores a través del ciclo a la siguiente iteración. Un registro de desplazamiento aparece como un par de terminales directamente opuestas en las partes verticales del borde del ciclo.</p>	
Flat sequence	<p>Asignan el orden de ejecución del código que está en el interior de cada fotograma. El orden de ejecución es de izquierda a derecha.</p>	

**Tabla 5:** Tipo de estructuras de ejecución en LabVIEW



## 5.4. El sistema DAQ

Se utiliza un sistema DAQ para controlar las electroválvulas y las bombas a través del programa de control y para poder leer e interpretar en cualquier momento el valor del sensor de presión.

La adquisición de datos (DAQ) es el proceso de medir con un PC un fenómeno eléctrico o físico como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido. Un sistema DAQ consiste en sensores, hardware de medidas DAQ y una PC con software programable.



**Figura 4:** Partes de un sistema DAQ

### 5.4.1. El sensor

Un sensor, también llamado un transductor, convierte un fenómeno físico en una señal eléctrica que se puede medir. Dependiendo del tipo de sensor, su salida eléctrica puede ser un voltaje, corriente, resistencia u otro atributo eléctrico que varía con el tiempo. Algunos sensores pueden requerir componentes adicionales y circuitos para producir correctamente una señal que puede ser leída con precisión y con toda seguridad por un dispositivo DAQ.

Nuestro sistema de control contiene un sensor de presión además de 2 bombas de agua y 6 electroválvulas que se controlarán mediante las E/S digitales.

### 5.4.2. Dispositivo DAQ

El hardware DAQ actúa como la interfaz entre una PC y señales del mundo exterior. Funciona principalmente como un dispositivo que digitaliza señales analógicas entrantes para que una PC pueda interpretarlas. Los tres componentes clave de un

dispositivo DAQ usado para medir una señal son el circuito de acondicionamiento de señales, convertidor analógico-digital (ADC) y un bus de PC.



**Figura 5:** Dispositivo DAQ

El sistema DAQ del proyecto está dotado del dispositivo DAQ NI USB-6009. El USB-6009 brinda funcionalidad DAQ básica para aplicaciones como registro de datos simple, medidas portátiles y experimentos académicos de laboratorio. Es accesible para uso de estudiantes y lo suficientemente poderoso para aplicaciones de medida más sofisticadas. Tiene 8 entradas analógicas (14 bits, 48 kS/s), 2 salidas analógicas estáticas (12 bits), 12 E/S digitales y un contador de 32 bits.

#### *5.4.2.1. Acondicionamiento de Señales*

Las señales de los sensores o del mundo exterior pueden ser ruidosas o demasiado peligrosas para medirse directamente. El circuito de acondicionamiento de señales manipula una señal de tal forma que es apropiado para entrada a un ADC. Este circuito puede incluir amplificación, atenuación, filtrado y aislamiento. Algunos dispositivos DAQ incluyen acondicionamiento de señales integrado diseñado para medir tipos específicos de sensores.

#### *5.4.2.2. Convertidor Analógico Digital (ADC)*

Las señales analógicas de los sensores deben ser convertidas en digitales antes de ser manipuladas por el equipo digital como un PC. Un ADC es un chip que proporciona una representación digital de una señal analógica en un instante de tiempo. En la práctica, las señales analógicas varían continuamente con el tiempo y un ADC realiza muestras periódicas de la señal a una razón predefinida. Estas muestras son transferidas a una

PC a través de un bus, donde la señal original es reconstruida desde las muestras en software.

#### 5.4.2.3. Bus del PC

Los dispositivos DAQ se conectan a un PC a través de una ranura o puerto. El bus del PC sirve como la interfaz de comunicación entre el dispositivo DAQ y el PC para pasar instrucciones y datos medidos. Los dispositivos DAQ se ofrecen en los buses de PC más comunes, incluyendo USB, PCI, PCI Express y Ethernet. Hay varios tipos de buses y cada uno de ellos ofrece diferentes ventajas para diferentes tipos de aplicaciones.

#### 5.4.3. Pc y software

Un PC con software programable controla la operación del dispositivo DAQ y es usado para procesar, visualizar y almacenar datos de medida. Se pueden usar diferentes tipos de PCs según las diferentes tipos de aplicaciones. Un PC de escritorio, un ordenador portátil o un ordenador industrial.

Como software controlador se utiliza NI-DAQmx de National Instruments.

El software controlador ofrece al software de aplicación la habilidad de interactuar con un dispositivo DAQ. Simplifica la comunicación con el dispositivo DAQ al abstraer comandos de hardware de bajo nivel y programación a nivel de registro. Generalmente, el software controlador DAQ expone una interfaz de programación de aplicaciones (API) que es usada en un entorno de programación para construir software de aplicación.

El software de aplicación será LabVIEW, que facilita la interacción entre la PC y el usuario para adquirir, analizar y presentar datos de medidas. En el Diagrama de Bloques de LabVIEW se utilizan las funciones DAQ Assistant para interactuar con el software controlador que comunicará con el USB-6009.

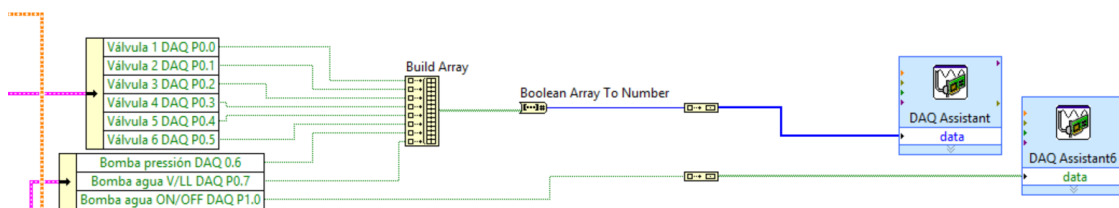
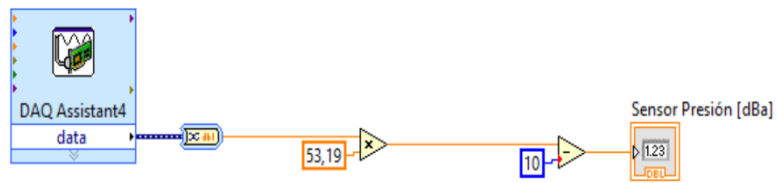


Figura 6: Comunicación LabVIEW con DAQAssistant

Automatización de los ensayos en cámara hiperbárica en los laboratorios del observatorio Obsea conforme la norma NF X10-812-2013  
Alsamora Borraz, Emma



**Figura 7:** Comunicación DAQAssistant con LabVIEW

## 6 SISTEMA HIDRÁULICO

### 6.1 Características

La cámara hiperbárica a la que se ha llevado a cabo la automatización es una cámara fabricada por la empresa española Iberco destinada a la investigación.

Está situada en el Centro Tecnológico de Vilanova i la Geltrú (CTVG), un centro pluridisciplinar de investigación dónde varios grupos (9 en la actualidad) llevan a cabo actividades de investigación, innovación i trabajan con el campus universitario de la Universidad Politécnica de Catalunya (UPC) en Vilanova i la Geltrú.



**Figura 8:** Cámara hiperbárica

La utiliza el grupo de investigación SARTI en su proyecto OBSEA para hacer pruebas de presión a objetos para ser instalados o utilizados en su plataforma submarina y ayudar en la investigación marina.

CARACTERÍSTICAS DE LA CÁMARA HIPERBÁRICA	
Presión máxima de trabajo:	20,00 bares
Fluido:	Agua

Temperatura:	+5°C a + 45°C
Volumen:	816 dm <sup>3</sup>

Tabla 7: Características de la cámara hiperbárica

6.2 Estructura

El primer paso a realizar al empezar el proyecto fue el aprendizaje y familiarización del funcionamiento de la cámara hiperbárica y su sistema hidráulico.

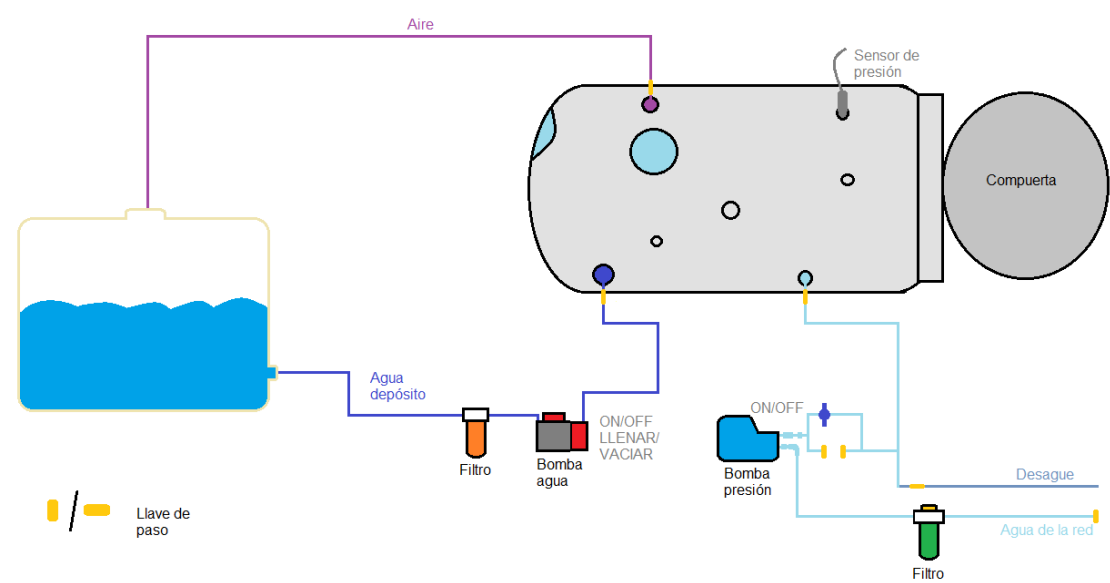


Figura 9: Dibujo del sistema hidráulico

La cámara tiene una sola cámara principal y se accede a su interior por una compuerta de cierre hermético, que evita la pérdida de agua y presión, situada en su parte delantera, por dónde se introduce el equipo objeto de prueba.

La cámara tiene varios orificios de poco diámetro que permiten acceder a su interior, de estos se utilizan cuatro.

Dos se encuentran en la parte inferior de la cámara y se utilizan para la entrada y salida de agua. Uno de ellos está conectado a la salida de una bomba de agua autoaspirante de doble sentido. El agua llega de un depósito que recoge agua de lluvia que se ha filtrado para eliminar posibles cuerpos que puedan dañar la bomba. El orificio se utiliza para el llenado y el vaciado de la cámara. Otro de los orificios, conectado a una bomba unidireccional envía agua de la red filtrada a la cámara y regula la presión de dentro.

Un tercer orificio situado en la parte superior de la cámara conectado a un tubo de

plástico que va a parar al depósito se utiliza para la entrada/salida de aire. El aire se escapa de la cámara al llenarse de agua y entra al vaciarse.

En el cuarto orificio hay un sensor de presión instalado que mide la presión de dentro de la cámara hiperbárica.

Los demás orificios son ventanas desde dónde se puede ver el interior de la cámara o no están en uso.

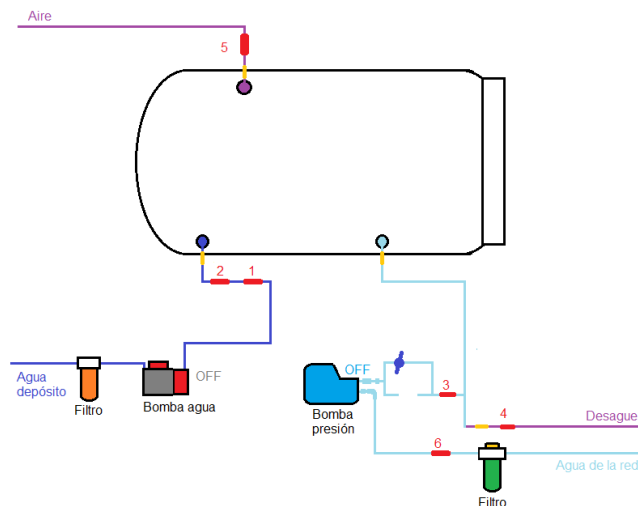
Además, la cámara tiene tuberías con llaves de paso y válvulas que permiten controlar el paso de agua a la cámara.

### 6.3 Diseño del sistema hidráulico

Para un control remoto del llenado y vaciado de la cámara se diseñó un sistema hidráulico, se seleccionaron los elementos necesarios y su situación.

Se llegó al acuerdo de instalar seis electroválvulas.

Una electroválvula es una válvula electromecánica diseñada para controlar el paso de un fluido, en este caso agua, por un conducto o tubería. La válvula tiene dos posiciones, abierto o cerrado y se mueve mediante una bobina solenoide.



**Figura 10:** Instalación electroválvulas

Se escogieron electroválvulas normalmente abiertas para que todas quedaran abiertas y no hubiera estancamiento de agua en caso de quedarse sin electricidad y para que la cámara se pudiera seguir utilizando de forma manual. Las válvulas son de un único sentido dado que son más económicas y adecuadas para la función que desempeñan. Su tamaño fue escogido de acuerdo con el diámetro de la tubería dónde se instala la electroválvula.

Las electroválvulas 1 y 2 permiten el paso de agua a la cámara. La 5 se utiliza para la salida y entrada de aire. La válvula número 6 permite regular la entrada de agua de red al sistema hidráulico. El aumento de presión dentro de la cámara lo regula la válvula 3 y la 4 permite reducir la presión hasta la atmosférica.

## 6.4 Funcionamiento

Con el fin de monitorizar las electroválvulas y diseñar la aplicación de control correctamente, se realizó un esquema que describe el funcionamiento de la cámara. En el esquema se refleja la posición de las electroválvulas para los diferentes estados de funcionamiento de la cámara.

Para poder realizar adecuadamente la prueba al equipo científico de dentro de la cámara son necesarios siete estados de funcionamiento diferentes.

El siguiente dibujo indica la posición de la electroválvula.



**Figura 11:** Posición electroválvula

Se nombra a las válvulas según el número que tienen asignado en los dibujos de la cámara.

La instalación de las electroválvulas está pensada para que el uso de la cámara pueda seguir usándose de forma manual y cuando se desea utilizar en modo automatizado todas las llaves de paso deben permanecer abiertas.

### 6.4.1 Inicio

La cámara está en reposo esperando a ser llenada. Todas las electroválvulas permanecen abiertas excepto la número 6, que evita que el agua de red entre en el sistema y se colapse. Las dos bombas de agua permanecen apagadas.



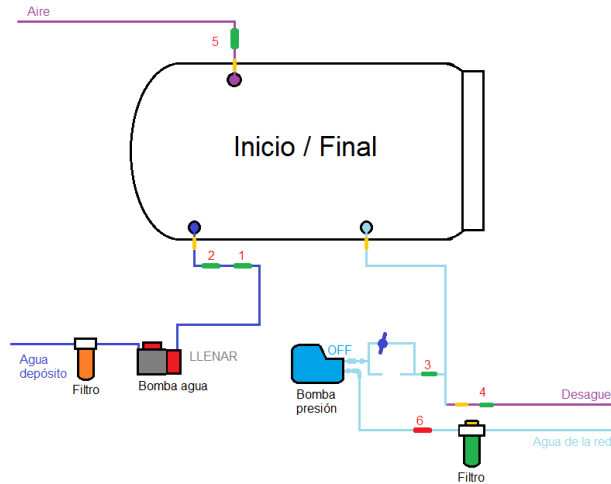


Figura 12: Estado de inicio/final

#### 6.4.2 Llenado

Para llenar la cámara se abren las válvulas 2, 5 y se enciende la bomba de bidireccional en el sentido de llenado. El agua del depósito se filtra y llena la cámara pasando por la electroválvula abierta 2. Al mismo tiempo el aire que contiene la cámara se escapa por la electroválvula abierta número 5. El circuito de presión permanece cerrado.

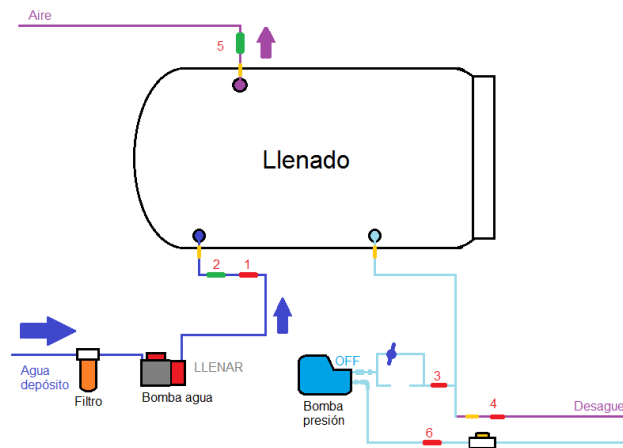


Figura 13: Estado de llenado

#### 6.4.3 Ajuste presión

Cuando se observa que la cámara está llena, porque se escapa algo de agua por el tubo superior del aire, se procede al ajuste de la presión interior.

Para evitar el escape de agua y entrada de aire en la cámara se cierran las electroválvulas 2 y 5. La número 1 sigue cerrada y la 6 se abre dejando circular el agua

de la red. La 3 se abre y con ayuda de la bomba unidireccional, ahora encendida, entra el agua a la cámara y se obtiene la presión deseada. La electroválvula 4 permanece cerrada para evitar el escape de agua al desagüe.

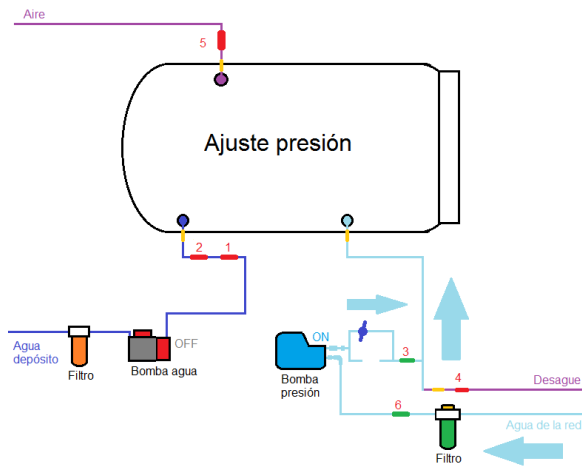


Figura 14: Estado ajuste presión

#### 6.4.4 Presión fija

Al conseguir la presión deseada, se puede controlar recibiendo la señal del sensor o por el manómetro instalado, se cierran todas las electroválvulas para evitar cualquier tipo de fuga de agua que haga variar la presión dentro de la cámara principal. La bomba que controla presión se apaga.

La prueba a realizar exige que el equipo se someta a cierta presión durante un tiempo determinado.

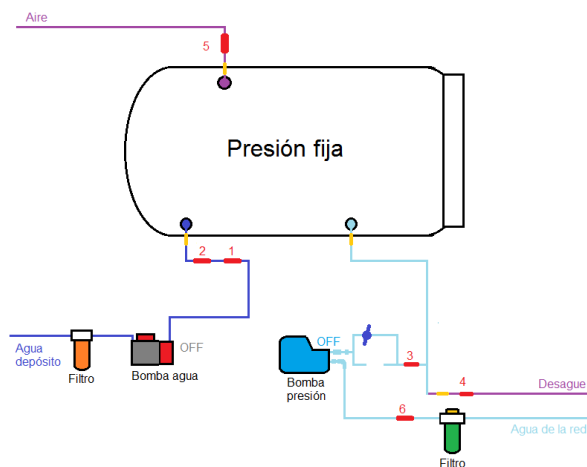


Figura 15: Estado presión fija

#### 6.4.5 Vaciado presión

Transcurrido el tiempo a presión fija, se realiza un cambio en la presión de la cámara. Para sacar la presión se abre la electroválvula 4 manteniendo las demás cerradas y sale agua de la cámara hasta que la presión es la deseada.

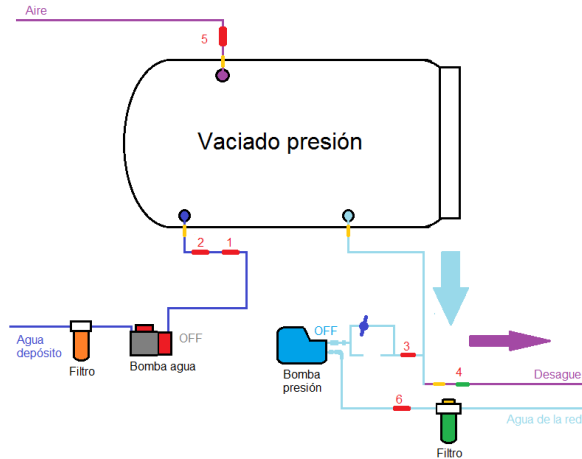


Figura 16: Estado vaciado presión

#### 6.4.6 Vaciado cámara

En cuanto el equipo ya ha estado sometido a todas las pruebas de presión correspondientes y la cámara se encuentra a presión atmosférica, se vacía la cámara. Se abren las válvulas 1 y 5 y enciende la bomba de agua bidireccional en el sentido del vaciado. Por la válvula 1 circula el agua de la cámara que absorbe la bomba y devuelve al depósito de agua. La válvula 5 se abre para permitir la entrada de aire a la cámara y las válvula 3 y 4 se cierran para no permitir el paso de agua y que la cámara se vacíe por el otro orificio.

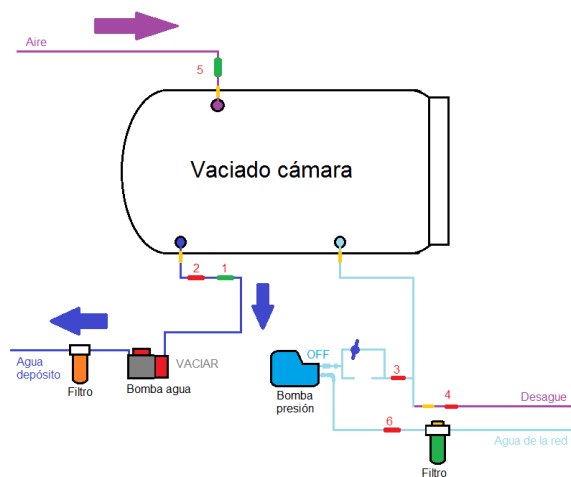


Figura 17: Estado vaciado cámara

#### **6.4.7 Final**

Cuando la cámara ya está totalmente vacía, ya no sale más agua hacia el depósito, las electroválvulas permanecen abiertas para evitar cualquier tipo de estancamiento de agua y las bombas se apagan.

La electroválvula 6 se cerrará para no permitir el paso de agua al sistema. Cuando la prueba termina, se cierra el grifo del subministro de agua de red y al desconectar la alimentación de sistema de control esta queda abierta sin que haya ningún riesgo de colapso.

## **7. APLICACIÓN DE CONTROL**

### **7.1. Introducción**

Los ensayos que se realizan al equipamiento científico en la cámara hiperbárica del centro SARTI se ejecutan de forma totalmente manual.

Mediante la automatización del proceso de presión hidrostática con LabVIEW se pretende conseguir una aplicación que convierta el proceso actual en un proceso automático. Gracias a la automatización se conseguirá reducir el gasto temporal en cada ensayo de presión hidrostática.

La aplicación está diseñada para que el usuario la pueda configurar de manera que se tenga un control totalmente flexible sobre las válvulas y las bombas.

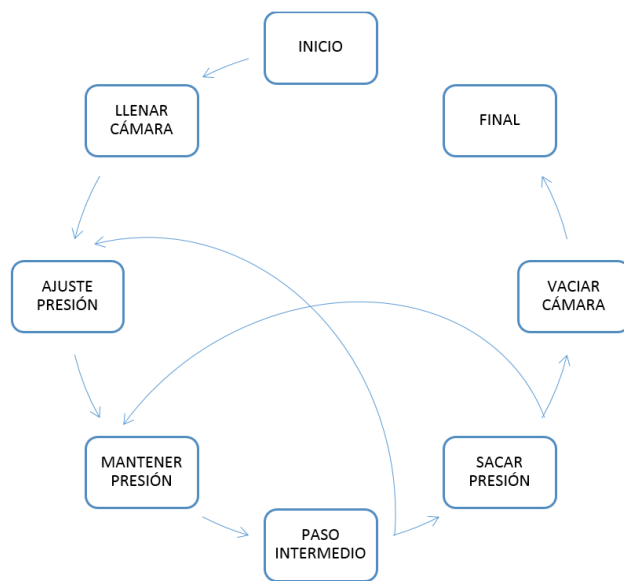
Esta permite que el usuario escoja entre un control de la prueba totalmente automático o manual, según le convenga. En modo automático, insertando los valores de presión y tiempo a los que se desee someter el equipo o, según la norma NF X 10-812, escogiendo la prueba y la profundidad debajo del mar a la que se desea probar el equipo. En modo manual, el usuario puede accionar cada válvula y bomba individualmente o el estado de funcionamiento al que desea poner la cámara.

#### **7.1.1. Máquina de estados**

La aplicación en LabVIEW tiene una estructura de ejecución basada en una arquitectura de máquina de estados.

Una máquina de estados es un patrón de diseño común y útil en LabVIEW que por lo general tiene un estado de inicio y un estado de finalizado, pero también contiene otros estados. Las máquinas de estado pueden implementar cualquier algoritmo que puede ser descrito explícitamente por un diagrama de estados o diagrama de flujo.

La aplicación contiene dos máquinas de estados, una determina el estado de funcionamiento (de inició, llenado, vaciado, etc.) en el que se encuentra la cámara y la otra se utiliza para registrar datos del sistema.



**Figura 18:** Diagrama máquina de estados principal

## 7.2. Panel frontal

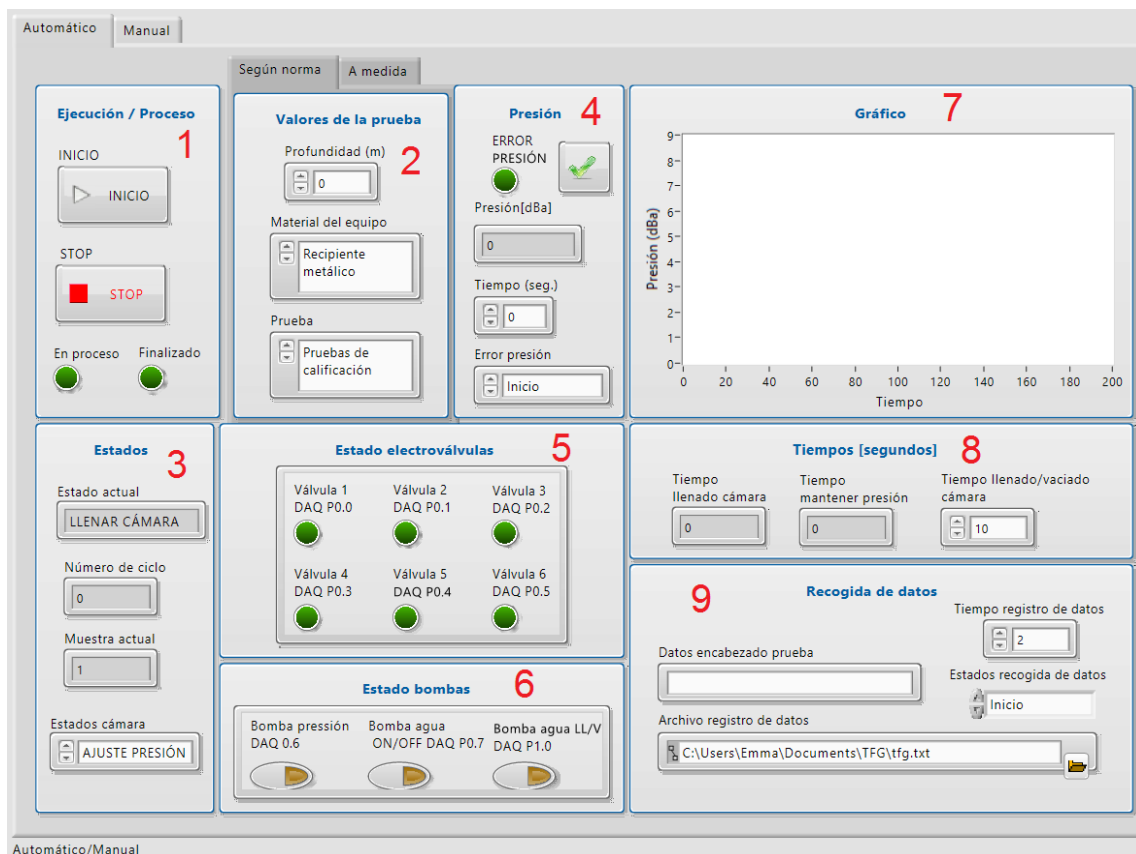
Al ejecutar la aplicación, el técnico realizador de la prueba de presión hiperbárica se encontrará con el panel frontal de la aplicación.

En el panel frontal se elige la forma de control de la cámara mediante unas pestañas, forma de control automático o manual.

### 7.2.1. Control automático

En la forma de control automática la aplicación realiza toda la prueba de presión sin necesidad de intervención humana. Es necesaria la indicación de algunos parámetros antes de la ejecución prueba y realiza los pasos necesarios para probar el equipo de prueba. Al terminar se para de forma automática hasta que el usuario vuelve a hacer uso de la aplicación.

En esta forma de control hay 9 módulos numerados según la figura 19.



**Figura 19:** Panel frontal modo automático

#### 7.2.1.1. Módulo 1

El pulsador de inicio pone en marcha la prueba, el pulsador STOP puede ser pulsado en cualquier momento de la ejecución del programa y para el sistema, y dos leds indican si la prueba ha finalizado.

#### 7.2.1.2. Módulo 2

Datos configurados por el usuario. Se pueden elegir dos tipos de configuración, según la norma NF X 10-812 o a medida.

**Figura 20:** Control modo automático según normativa

Presión	Tiempo seg	Número muestras
9	21	3
8	10	2
10	6	1
0	0	0
0	0	0
0	0	0

**Figura 21:** Control modo automático a medida

En la configuración según la norma, se determina la longitud bajo el mar a la que queremos probar el equipo, el tipo de material con el que está fabricado y la prueba a la que se le quiere someter.

En la configuración a medida hay una matriz de tres columnas dónde se determina en cada fila un ciclo de presión. La presión deseada, el tiempo necesario para llegar a dicha presión y el número de muestras sé que quieren realizar hasta llegar a esta.

#### 7.2.1.3. Módulo 3

Estado en el que el programa está ejecutando en ese momento, el ciclo de presión y el número de la muestra en el que se encuentra.

#### 7.2.1.4. Módulo 4

Led que indica la presencia de un error en la presión, este error se reestablece pulsando el botón de la derecha. Indicador de la presión que detecta el sensor de presión instalado dentro de la cámara, configuración del tiempo sin que la presión aumente que



determina el error de presión y estados de la máquina de error de presión.

#### *7.2.1.5. Módulo 5*

Leds que indican el estado en el que se encuentran las electroválvulas. Encendido (TRUE) si la válvula está cerrada y apagados (FALSE) si la válvula permanece abierta.

#### *7.2.1.6. Módulo 6*

Un primer led indica si la bomba de presión unidireccional está encendida o apagada. El segundo led indica el estado de la bomba de agua y el tercer led indica, en el caso que la bomba de agua esté encendida, si esta se está llenando o vaciando la cámara.

#### *7.2.1.7. Módulo 7*

Gráfico que representa la presión detectada por el sensor respecto al tiempo.

#### *7.2.1.8. Módulo 8*

El primer indicador muestra el tiempo transcurrido desde que la cámara ha empezado a llenarse. Cada vez que se mantiene la presión de una muestra en un ciclo de presión el segundo indicador empieza a contar y muestra el tiempo. En el control el usuario configura el tiempo que tarda en llenarse y vaciarse la cámara hiperbárica, este tiempo suele oscilar entre los 30 y 40 minutos.

#### *7.2.1.9. Módulo 9*

Control string dónde puede escribir información sobre la prueba que se va a realizar para que quede reflejado en el informe. Selección del archivo dónde se quiere recibir el registro de los datos y se configura cada cuánto tiempo se quiere hacer un registro de estos.

### **7.2.2. Control manual**

En la forma de control manual la aplicación permite dos tipos de control, el accionamiento autónomo de cada válvula y bomba o la elección del estado al que se quiere someter la cámara.

Este modo tiene un módulo común que permite visualizar la presión que detecta el

sensor en el mismo instante y tiene un pulsador STOP para parar el sistema en caso de emergencia o necesidad.

### 7.2.2.1. Accionamiento por válvulas

En esta pestaña, el usuario puede accionar y abrir y cerrar cada una de las electroválvulas que tiene la cámara de forma totalmente autónoma mediante los controles booleanos. Igual que las bombas.

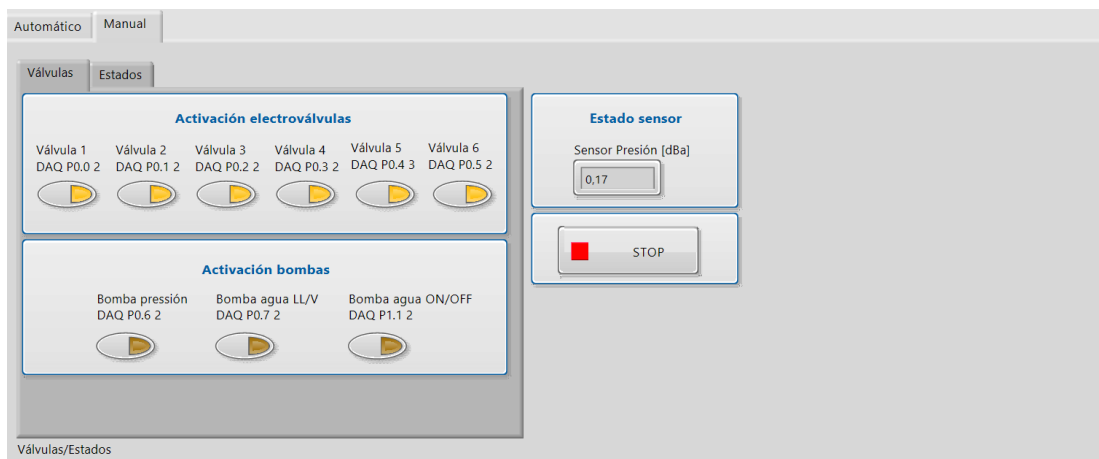


Figura 22: Control modo manual por válvulas

### 7.2.2.2. Accionamiento por estados

Si se quiere tener un control del sistema según sus estados de funcionamiento, esta pestaña permite elegir el estado deseado. Se activaran o desactivan las electroválvulas y bombas pertinentes. El estado de estas se puede ver en los indicadores leds.

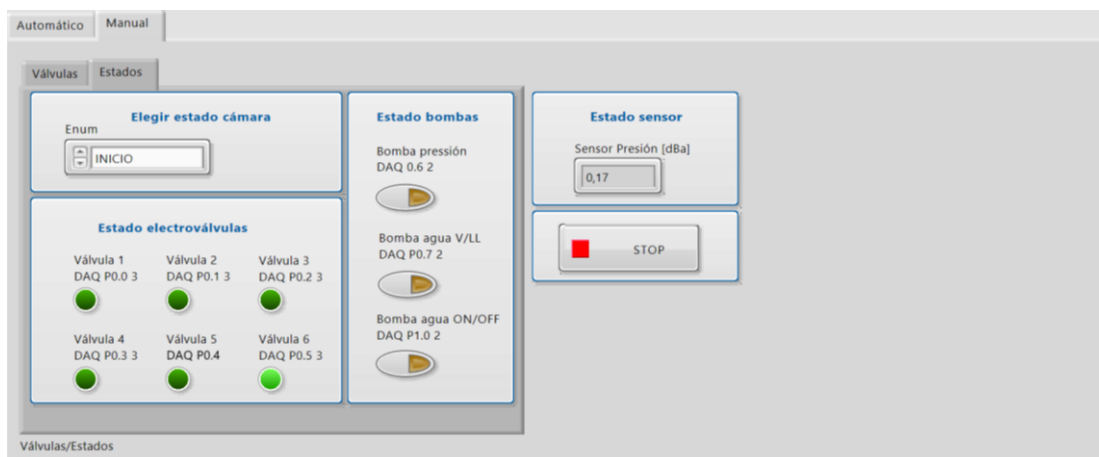


Figura 23: Control modo manual por estados

### 7.3. Diagrama de bloques

En el diagrama de bloques se añade código usando representaciones gráficas de funciones para controlar los objetos del panel frontal. Esta parte de la aplicación no se puede modificar desde el aplicativo .exe.

La estructura principal de la aplicación es una estructura while que contiene una estructura case que permite elegir la forma de control (automática o manual) de la cámara.

#### 7.3.1. Modo automático

Dentro de la estructura case en modo automático se encuentran cuatro estructuras case más. Una de ellas corresponde con la máquina de estados que determina el funcionamiento de la cámara, otra es la máquina de estados que se encarga de registrar datos durante el proceso de la prueba, también está la que anañiza los errores de presión y una última selecciona los datos de presión, tiempo y muestras de la prueba.

##### 7.3.1.1. Datos de prueba

En el módulo 2 del panel frontal el usuario puede elegir dos tipos de configuración para los datos de presión, tiempo y número de muestras de cada ciclo de presión. Según la norma NF X 10-812 o a medida. En ambos casos se obtiene una tabla de datos como nodo de salida que luego procesará la máquina de estados principal.

Para la implementación se ha decidido poner estructuras case.

Al seleccionar la forma de configuración de datos a medida, la tabla resultante es la completada por el usuario.

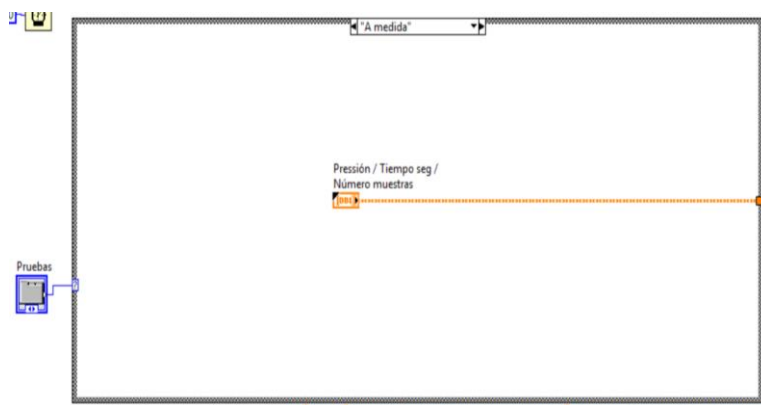


Figura 24: Control automático datos de prueba a medida

Si la forma de configuración es según la norma NF X 10-812, se crea una matriz según el material del equipo y la prueba que se desea realizarle seleccionada. Se han añadido dos estructuras case más. Una que determina el tipo de material y otra dentro de la anterior dónde se crea una tabla, que corresponde con la preestablecida con la norma aplicada, para cada prueba. Igual que la tabla de datos que puede rellenar el usuario, las tablas que se crean tienen 3 columnas y cada columna contiene el mismo tipo de información.

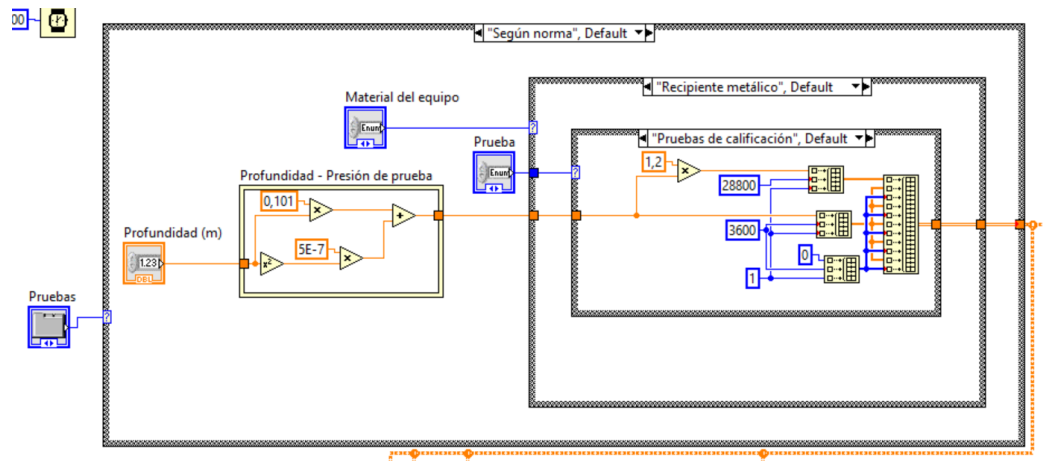


Figura 25: Control automático datos de prueba según norma

### 7.3.2. MÁQUINA DE ESTADOS PRINCIPAL

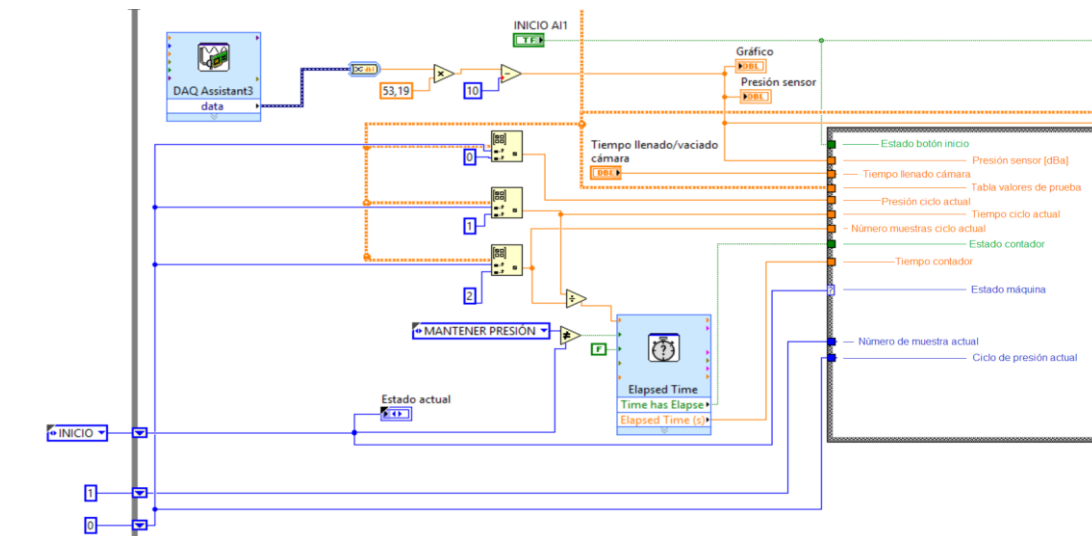
Esta máquina tiene 8 estados y es la que se encarga de abrir o cerrar las electroválvulas de la cámara y encender o apagar las bombas para, además de leer los datos del sensor de presión, entrar en el estado que se requiera y realizar la prueba correctamente.

La máquina de estados principal tiene 12 nodos de entrada y 14 nodos de salida.

*Nodos de entrada:*

1. Estado del botón de inicio del panel frontal.
2. Resultado de la obtención de la calibración del voltaje que genera el sensor a una resistencia de 47 Ohmios a dBa.
3. Tiempo de llenado configurado por el usuario en el panel frontal.
4. Tabla rellena con los valores de la prueba del panel frontal o diseñada según la normativa.

5. Columna presión de la tabla con fila correspondiente al ciclo de prueba actual.
6. Columna tiempo de la tabla con fila correspondiente al ciclo de prueba actual.
7. Columna número de muestras de la tabla con fila correspondiente al ciclo de prueba actual.
8. Estado del contador que cuenta el tiempo de prueba del ciclo actual entre su número de muestras y se inicializa cuando el estado actual es el de mantener presión.
9. Tiempo que ha transcurrido desde que se ha iniciado el contador.
10. Shift register que almacena el estado de la máquina.
11. Shift register que almacena el número de la muestra del ciclo de presión actual, se inicializa en 1.
12. Shift register que almacena el número del ciclo de presión actual, se inicializa en 0.



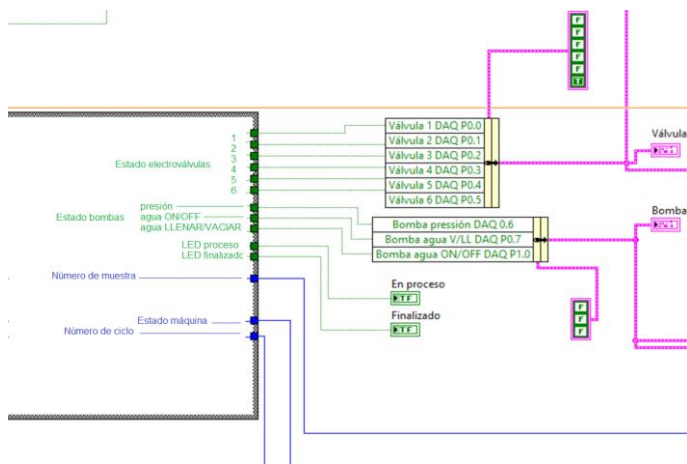
**Figura 26:** Nodos de entrada máquina de estados principal

*Nodos de salida:*

1. Estado electroválvula 1
2. Estado electroválvula 2
3. Estado electroválvula 3
4. Estado electroválvula 4

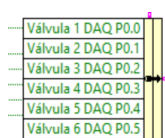
5. Estado electroválvula 5
6. Estado electroválvula 6
7. Estado bomba presión
8. Estado bomba agua ON/OFF
9. Estado bomba agua LLENAR/VACIAR
10. Estado led proceso panel frontal
11. Estado led finalizado panel frontal
12. Shift register que almacena el estado de la máquina.
13. Shift register que almacena el número de la muestra del ciclo de presión actual, se inicializa en 1.
14. Shift register que almacena el número del ciclo de presión actual, se inicializa en 0.

Tanto el estado de las electroválvulas como el de las bombas son actualizados y enviados al NI-DAQmx mediante el DAQ Assistant para ser procesador por el NI USB-6009.

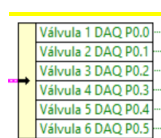


**Figura 27:** Nodos de salida máquina de estados principal

Se utiliza la función unbundle para separar un cluster en sus elementos individuales y la función bundle para actualizar sus valores.



**Figura 28:** Función LabVIEW bundle



**Figura 29:** Función LabVIEW unbundle

7.3.2.1. Inicio

Descripción:	Una vez el programa se ejecuta, el primer estado es el de inicio. Cuando el usuario presiona el botón de inicio del panel frontal pasa al siguiente estado, llenar cámara, para empezar la prueba de presión en el equipo de prueba.					
Estado Electroválvulas:	Válvula 1	Válvula 2	Válvula 3	Válvula 4	Válvula 5	Válvula 6
	Abierta	Abierta	Abierta	Abierta	Abierta	Cerrada
Estado bombas:	Bomba de presión		Bomba de agua ON/OFF		Bomba de agua LLENAR/VACIAR	
	Apagada		OFF		OFF	

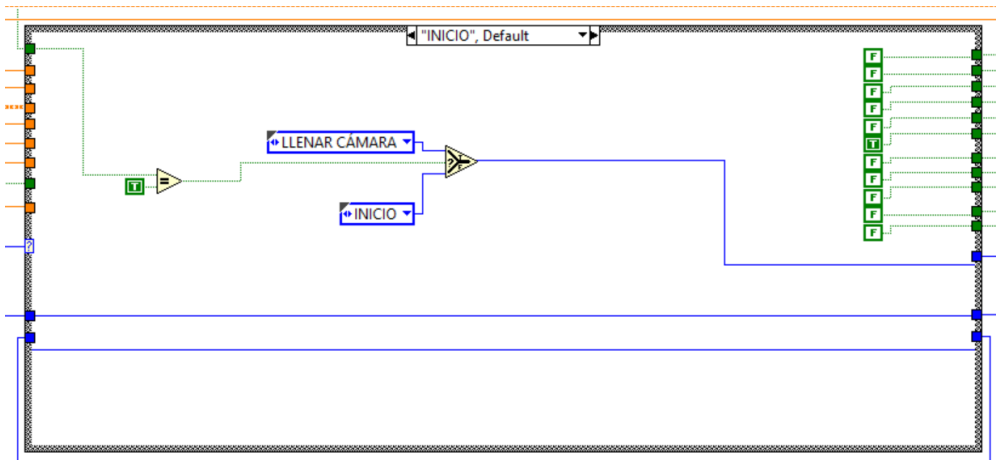


Figura 30: Estado inicio máquina de estados principal

7.3.2.2. Llenar cámara

Descripción:	<p>Cuando el botón de inicio se ha presionado se empieza a llenar la cámara de agua y se inicia el contador de tiempo. Las válvulas correspondientes se abren y cierran y se enciende la bomba de agua en modo llenar.</p> <p>Una vez ha transcurrido el tiempo configurado en el panel frontal de llenado de cámara, se ha llenado la cámara de agua y salta al estado ajuste presión.</p>						
Estado Electroválvulas:	Válvula 1	Válvula 2	Válvula 3	Válvula 4	Válvula 5	Válvula 6	
	Cerrada	Abierta	Cerrada	Cerrada	Abierta	Cerrada	
Estado bombas:	Bomba de presión		Bomba de agua ON/OFF		Bomba de agua LLENAR/VACIAR		
	Apagada		ON		LLENAR		

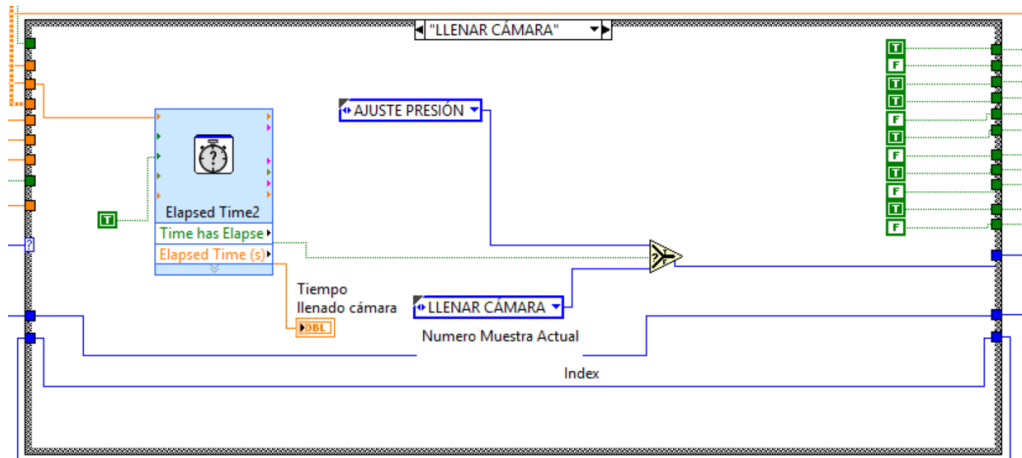


Figura 31: Estado llenar cámara máquina de estados principal



7.3.2.3. Ajustar presión

Descripción:	Se empieza a añadir presión a la cámara hiperbárica mediante el orificio inferior conectado a la bomba de presión hasta conseguir la presión del ciclo entre su número de muestras deseada. Una vez detectada, pasa al siguiente estado.						
Estado Electroválvulas:	Válvula 1	Válvula 2	Válvula 3	Válvula 4	Válvula 5	Válvula 6	
	Cerrada	Cerrada	Abierta	Cerrada	Cerrada	Abierta	
Estado bombas:	Bomba de presión		Bomba de agua ON/OFF		Bomba de agua LLENAR/VACIAR		
	Encendida		OFF		OFF		

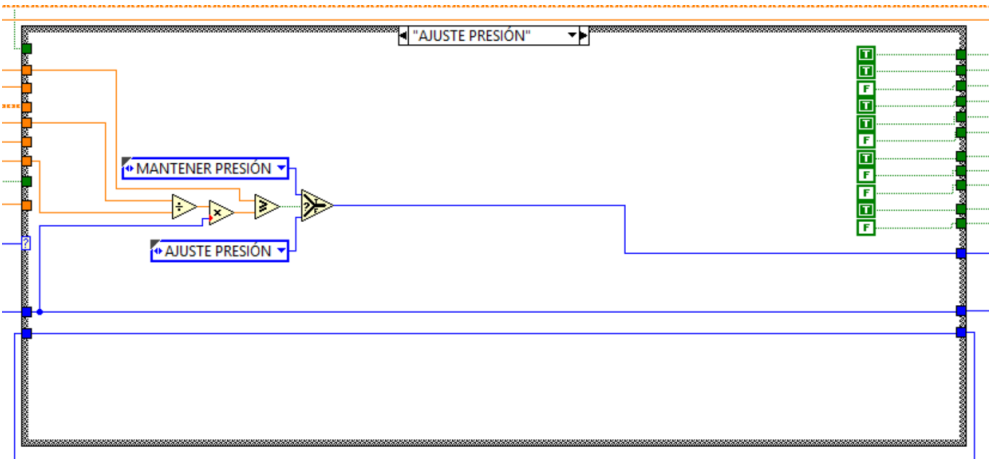


Figura 32: Estado ajuste presión máquina de estados principal

7.3.2.4. Mantener presión

Descripción:	<p>En este estado el programa cierra todas sus electroválvulas y procede a esperar el tiempo de ciclo de prueba. Si se detecta una disminución de presión adquirida en el estado anterior se enciende el led de error presión.</p> <p>Cuando el temporizador de tiempo ha saltado, se inicia el paso intermedio.</p>						
Estado Electroválvulas:	Válvula 1	Válvula 2	Válvula 3	Válvula 4	Válvula 5	Válvula 6	
	Cerrada	Cerrada	Cerrada	Cerrada	Cerrada	Cerrada	
Estado bombas:	Bomba de presión		Bomba de agua ON/OFF		Bomba de agua LLENAR/VACIAR		
	Apagada		OFF		OFF		

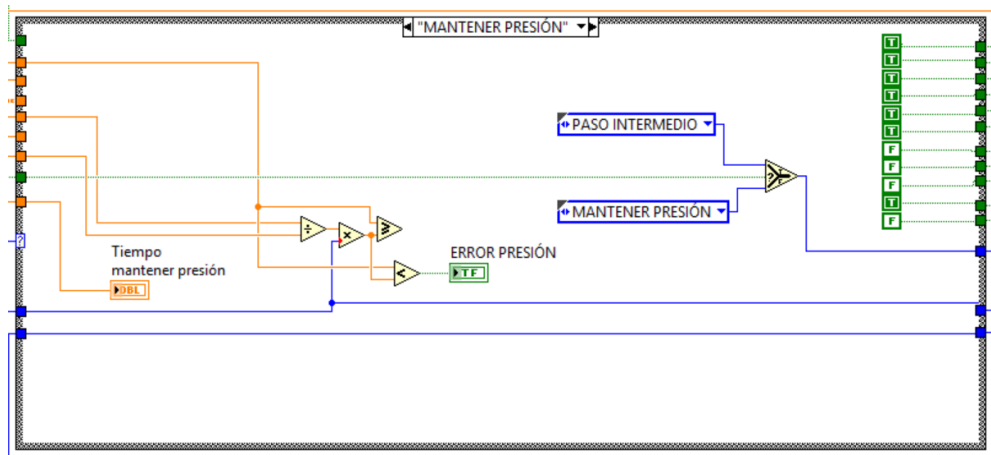


Figura 33: Estado mantener presión máquina de estados principal

7.3.2.5. Paso intermedio

Descripción:	<p>En este paso se compara la presión del ciclo actual con la del siguiente ciclo de presión. Si, la presión del ciclo actual es mayor o igual a la del siguiente ciclo y no se trata del primer ciclo, o se trata del último ciclo, se va al estado sacar presión. Si la condición no se cumple, el siguiente estado sería el de ajustar presión.</p> <p>En este estado el valor del ciclo de presión actual y el valor de la muestra actual son modificados. Si la muestra actual coincide con el número de muestras totales del ciclo, este valor se pone a 1. En el caso contrario, se incrementa una unidad. Con el ciclo actual, si la muestra actual coincide con el número de muestras totales del ciclo, este valor se incrementa una unidad, en el caso contrario, el valor no variaría.</p>						
Estado Electroválvulas:	Válvula 1	Válvula 2	Válvula 3	Válvula 4	Válvula 5	Válvula 6	
	Cerrada	Cerrada	Cerrada	Cerrada	Cerrada	Cerrada	
Estado bombas:	Bomba de presión		Bomba de agua ON/OFF		Bomba de agua LLENAR/VACIAR		
	Apagada		OFF		OFF		

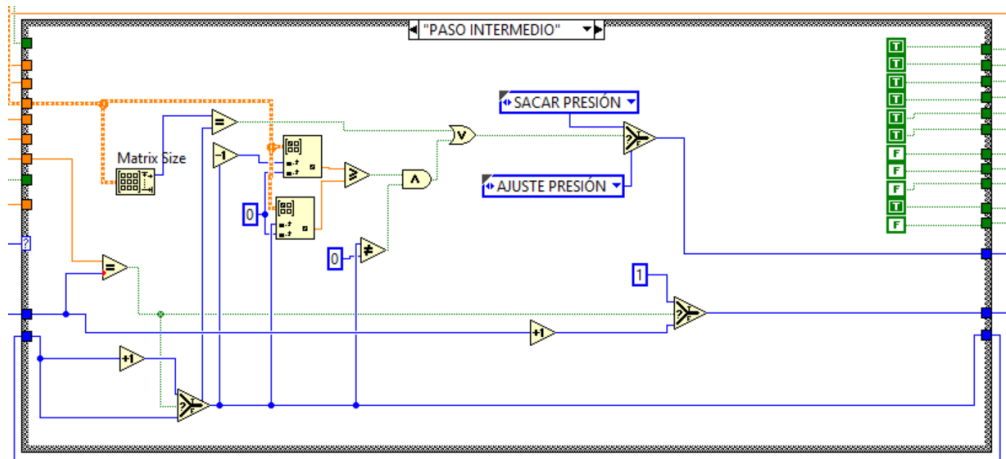


Figura 34: Estado paso intermedio cámara máquina de estados principal

7.3.2.6. Sacar presión

Descripción:	Del estado sacar presión se puede pasar al estado de mantener presión o al de vaciado de la cámara. Si la matriz de datos de prueba es de igual tamaño que el ciclo actual y la presión adquirida es 0, el siguiente estado será el de vaciar cámara. En el caso que el ciclo actual no sea el último y la presión del sensor sea la presión del ciclo, el siguiente estado sería el de mantener la presión.					
Estado Electroválvulas:	Válvula 1	Válvula 2	Válvula 3	Válvula 4	Válvula 5	Válvula 6
	Cerrada	Cerrada	Cerrada	Abierta	Cerrada	Cerrada
Estado bombas:	Bomba de presión		Bomba de agua ON/OFF		Bomba de agua LLENAR/VACIAR	
	Apagada		OFF		OFF	

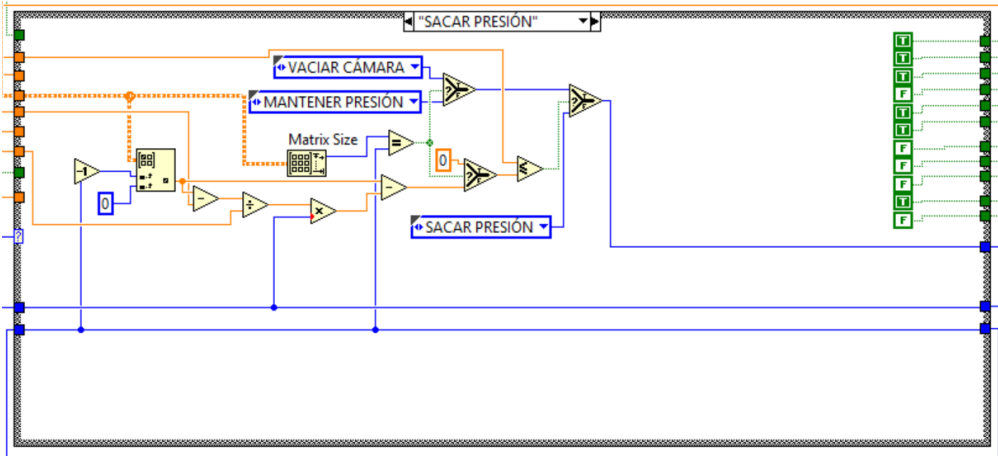


Figura 33: Estado sacar presión máquina de estados principal

7.3.2.7. Vaciar cámara

Descripción:	<p>Se empieza a vaciar la cámara de agua y se inicia el contador de tiempo. Las válvulas correspondientes se abren y cierran y se enciende la bomba de agua en modo llenar.</p> <p>Una vez ha transcurrido el tiempo configurado en el panel frontal de vaciado de cámara, la cámara está vacía y salta al último estado.</p>						
Estado Electroválvulas:	Válvula 1	Válvula 2	Válvula 3	Válvula 4	Válvula 5	Válvula 6	
	Abierta	Cerrada	Cerrada	Cerrada	Abierta	Cerrada	
Estado bombas:	Bomba de presión		Bomba de agua ON/OFF		Bomba de agua LLENAR/VACIAR		
	Apagada		ON		VACIAR		

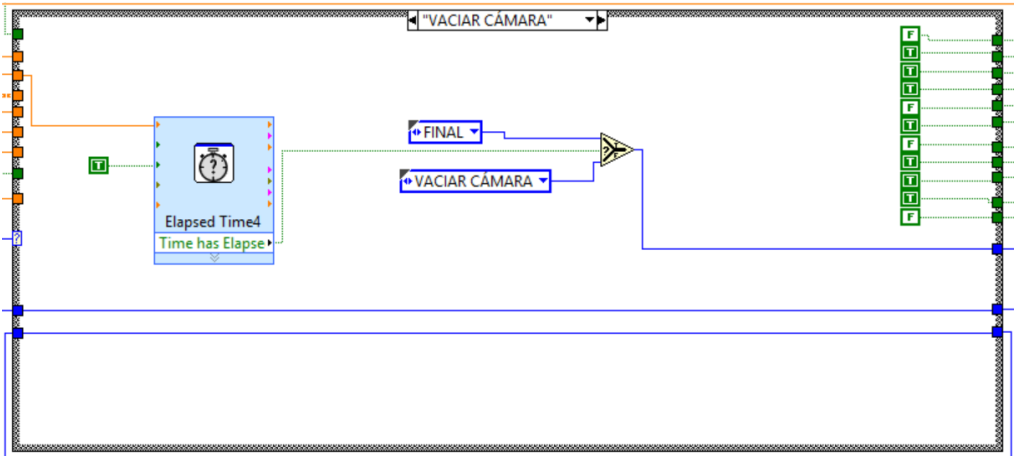


Figura 36: Estado vaciar cámara máquina de estados principal

7.3.2.8. Final

Descripción:	En este estado se abren todas las electroválvulas menos la número 6 y se apagan los motores. En estado espera a que el usuario pare de forma definitiva el programa.						
Estado Electroválvulas:	Válvula 1	Válvula 2	Válvula 3	Válvula 4	Válvula 5	Válvula 6	
	Abierta	Abierta	Abierta	Abierta	Abierta	Cerrada	
Estado bombas:	Bomba de presión		Bomba de agua ON/OFF		Bomba de agua LLENAR/VACIAR		
	Apagada		OFF		OFF		

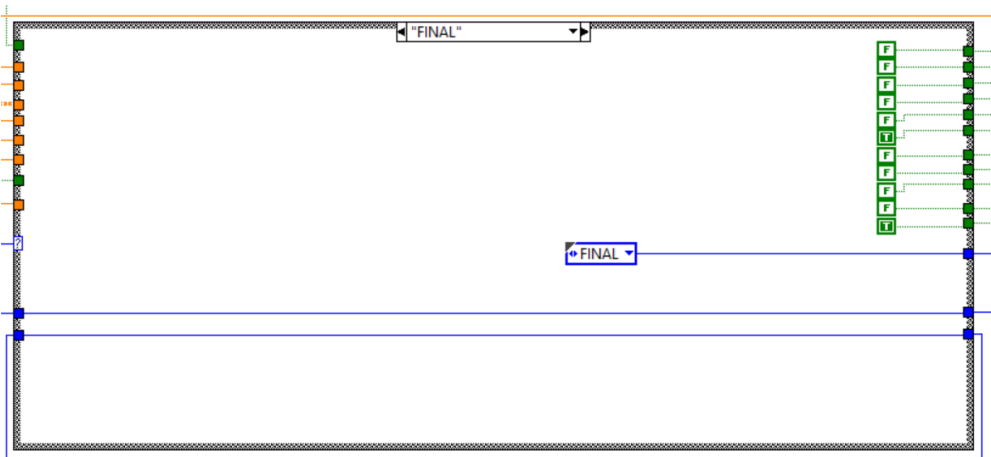


Figura 37: Estado final máquina de estados principal

7.3.3. Máquina de registro de datos

Esta máquina de estados es la encargada de enviar información sobre el estado de la cámara al archivo .txt seleccionado en el módulo 9 del panel frontal. La máquina que se encarga de registrar los datos de la cámara tiene 4 estados.

7.3.3.1. Inicio

Descripción:	Se espera a que el usuario presione el botón de inicio del panel frontal para pasar al estado datos del encabezado.
--------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

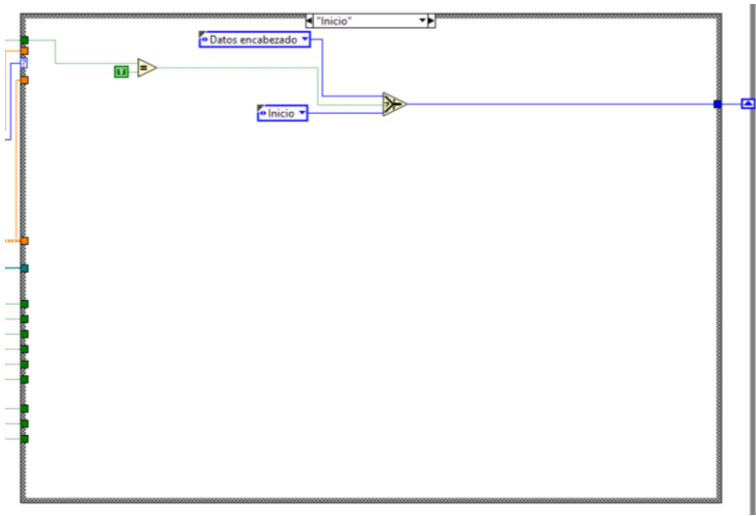


Figura 38: Estado inicio máquina de registro de datos

7.3.3.2. Datos encabezado

Descripción:	Se envía al archivo .txt caracteres que indican el inicio de una nueva prueba de presión, información sobre la prueba y la tabla que contiene los datos de la prueba de presión.
--------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

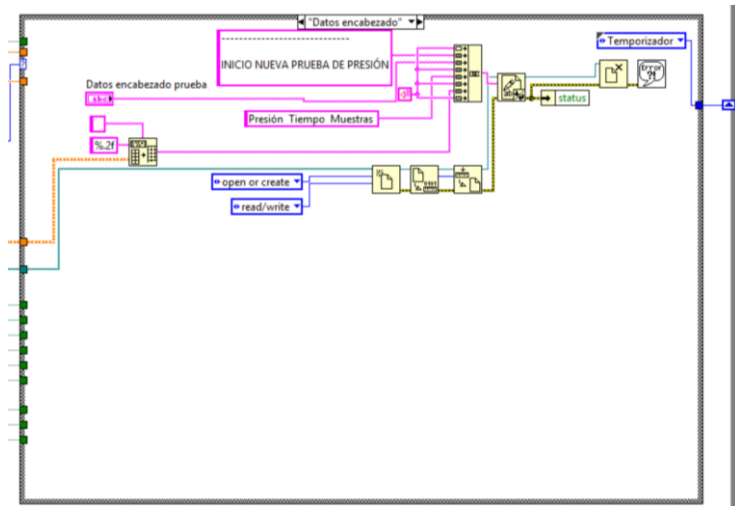


Figura 39: Estado datos encabezado máquina de registro de datos

7.3.3.3. Temporizador

Descripción:	Pone en marcha el cronómetro que cuenta el número de segundos de registro de datos seleccionados por el usuario en el panel frontal.
--------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

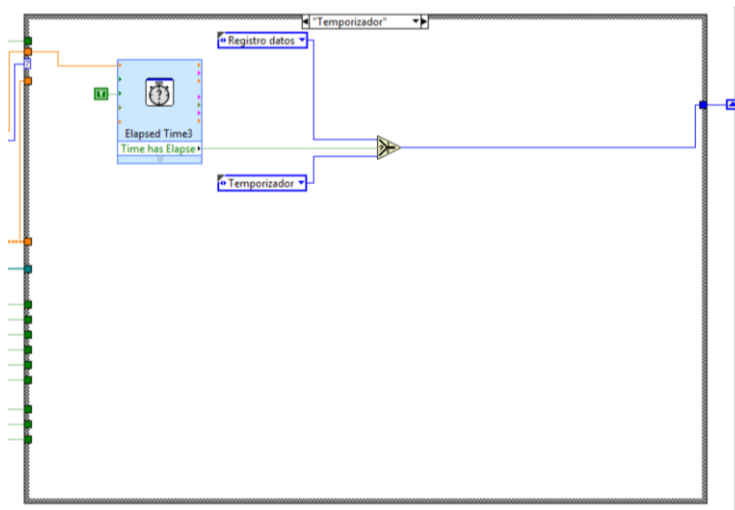


Figura 40: Estado temporizador máquina de registro de datos



7.3.3.4. Registro de datos

Descripción:	En este estado se registra la fecha, la hora, la presión detectada por el sensor, el estado de las seis electroválvulas y el estado de las bombas y se envían al archivo .txt. Una vez enviados los datos al archivo se vuelve al estado temporizador para esperar un nuevo registro de datos.
--------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

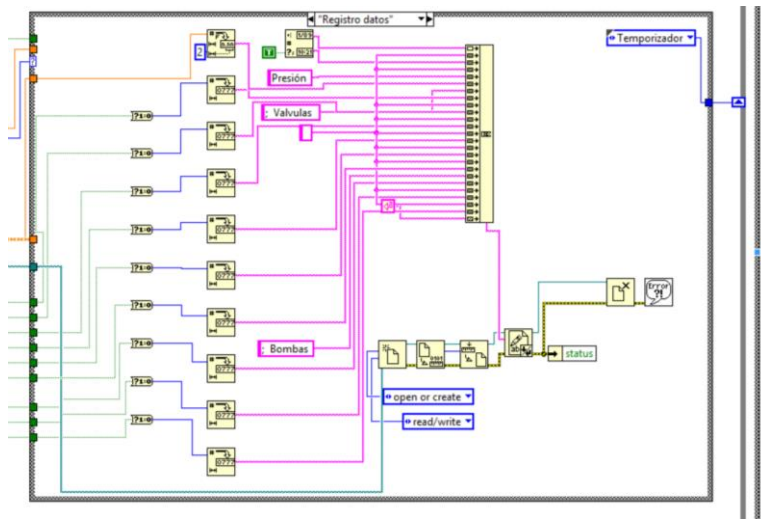


Figura 41: Estado registro de datos máquina de registro de datos

En la figura 42 se puede observar un ejemplo de cómo se ve el registro de datos realizado a una prueba guardado en el archivo tfg.txt.

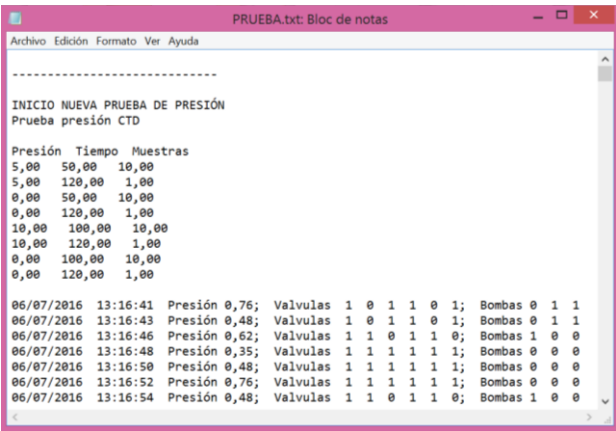


Figura 42: Ejemplo archivo registro de datos

7.4. Modo manual

En el diagrama de bloques, dentro de la estructura case en modo manual se encuentran una estructuras case más. Esta estructura corresponde al modo de accionamiento que se desea utilizar la cámara, accionamiento mediante válvulas o accionamiento mediante estados.

La función DAQ Assistant permite recoger el valor de la tensión que genera el sensor en una resistencia de 47 Ohmios y procesarla para poder visualizar el valor correspondiente a la presión. Los datos que la procesan se han obtenido en una calibración.

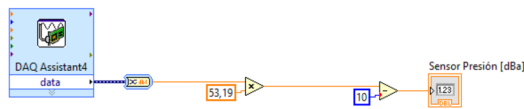


Figura 43: Obtención valor de presión

7.4.1. Accionamiento por válvulas

Descripción:	Para tener un control de la cámara hiperbárica de forma manual mediante el accionamiento de las electroválvulas y bombas de forma individual el programa recoge el estado en el que se encuentran los controles booleanos. Mediante la función DAQ Assistant se envían los datos al dispositivo DAQ que activará o desactivará los puertos digitales correspondientes.
--------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

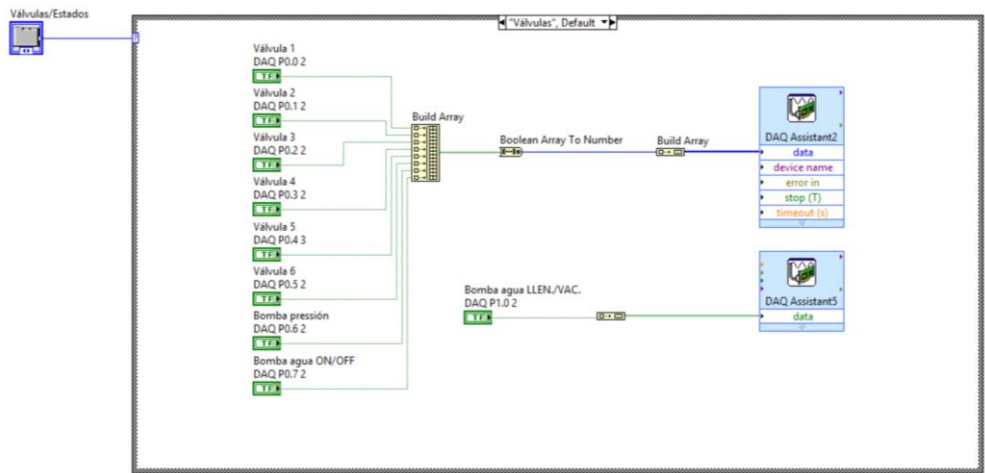


Figura 44: Modo manual accionamiento por válvulas

7.4.2. Accionamiento por estados

Descripción:	Para tener un control de la cámara hiperbárica de forma manual seleccionando los estados de funcionamiento de la cámara se ha construido un case structure con cada uno de los estados. Al seleccionar en el control enum el estado deseado se envía a las electroválvulas y bombas el booleano que corresponde con este.
--------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

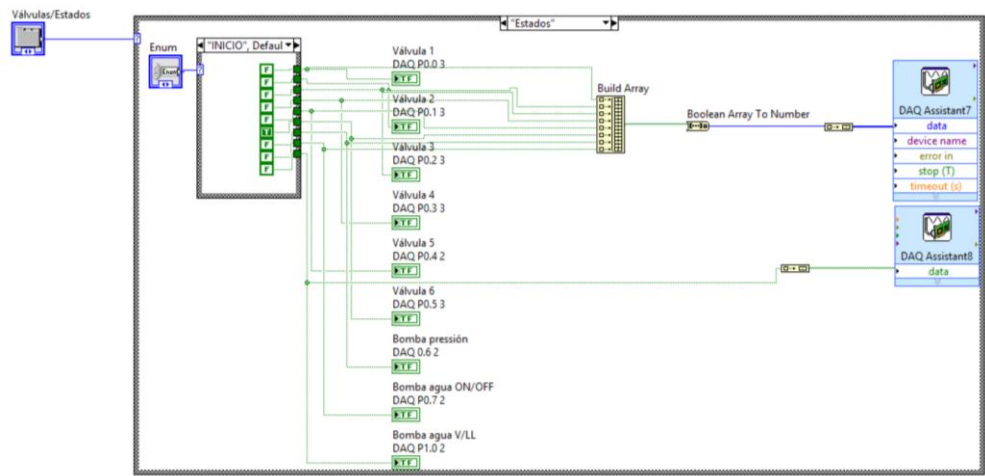


Figura 44: Modo manual accionamiento por estados

## 8. SISTEMA DE CONTROL

En la automatización de la cámara hiperbárica para poder realizar pruebas de presión a equipos para ser utilizados bajo el mar a grandes profundidades se ha realizado un sistema de control.

El sistema consiste en un PC que contiene un software controlador y el software de aplicación, el dispositivo DAQ NI USB-6009, una placa electrónica específica y el sensor, las electroválvulas y las bombas del sistema de la cámara hiperbárica. Todos los elementos se comunican mediante cableado.

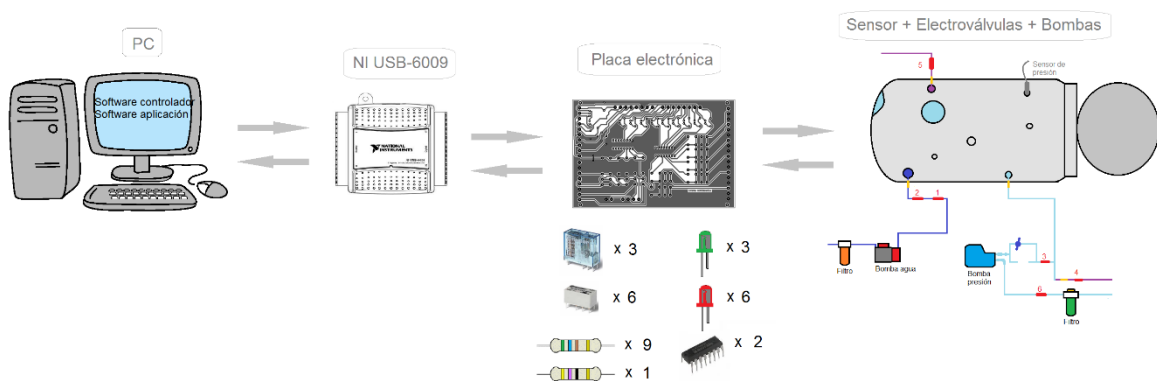


Figura 46: Esquema sistema de control

### 8.1. El PC y software

No es necesario un pc muy potente ni con muchas prestaciones. Se puede utilizar cualquier dispositivo que soporte la aplicación .exe de LabVIEW y que tenga un puerto USB dónde poder conectar el dispositivo DAQ.

### 8.2. El dispositivo NI USB-6009

El dispositivo NI USB-6009 se conecta directamente al PC mediante un cable USB estándar con terminaciones tipo A y B. Seis de sus puertos digitales de E/S (del P0.0 al P1.0), la entrada analógica AI0, la salida de 5 voltios y un pin de tierra (GND) se conectan a dos regletas clema que contiene la placa electrónica.

El dispositivo utilizado en la automatización lo ha proporcionado el grupo SARTI. Se puede comprar directamente desde la web de National Instruments.

Este USB recibe señales a través del programa LabVIEW que hacen que alimente o

deje de alimentar los puertos digitales de E/S configurados como salidas a 5 voltios. A demás leerá el voltaje que le entra por la entrada analógico AI0 y enviará el dato obtenido al programa.

### 8.3.El sistema hidráulico

En la cámara hiperbárica se han instalado un total de 6 electroválvulas y se ha conservado las dos bombas y el sensor de presión.

Las 6 electroválvulas son válvulas electromecánicas normalmente abiertas que controlan el paso de agua por una tubería conectada a la cámara. Cada válvula tiene una bobina solenoide que cierra el paso del agua cuando recibe una tensión de alimentación de 12 vatios. Estas electroválvulas permiten el flujo del agua en una sola dirección. Cada válvula tiene un cable con tres terminaciones, la fase, el neutro y el tierra. Por la fase se alimenta a 12 voltios y el neutro y tierra se utilizan para la conexión a tierra.

Las bombas ayudan a bombear el agua que entra o sale de la cámara. La bomba principal, que permite el bombeo en dos direcciones, tiene un cable con cuatro terminaciones, una terminación de fase, dos terminaciones de neutro que determinan el sentido de la bomba y una cuarta terminación para la conexión a tierra. La otra bomba solamente bombea agua en una dirección y su cable tiene tres terminaciones, la conexión de línea, la de neutro y la conexión a tierra.

Actualmente la cámara hiperbárica tiene un sensor de presión de 12 voltios. El sensor transmisor de presión capta el valor de presión o la variación de la misma y lo convierte en una señal eléctrica de intensidad.

El sensor tiene un cable que lo alimenta por un terminal, otro terminal que devuelve el valor de la presión recibida y un tercer terminal que corresponde a la conexión a tierra.



**Figura 47:** Sensor de presión

### 8.4.La placa electrónica

Para el control del sistema hidráulico se ha implementado un circuito electrónico. El circuito se alimenta por una fuente que proporciona 220V y 12V.

El circuito se ha diseñado con el programa Altium Designer y se ha impreso en una placa de cobre por el servicio técnico de la escuela EPSEVG. Altium Designer es un conjunto

de programas para el diseño electrónico en todas sus fases y para todas las disciplinas, ya sean esquemas, simulación, diseño de circuitos impresos, implementación de FPGA, o desarrollo de código para microprocesadores.

#### 8.4.1. Componentes electrónicos

En el diseño de la placa electrónica se han utilizado varios componentes electrónicos para un mejor funcionamiento de control del sistema hidráulico.

##### 8.4.1.1. Borneras

Se han utilizado borneras de diferente tamaño y tipo para conectar las bombas, las electroválvulas, el sensor y los puertos del NI USB-6009 con la placa, además de la fuente que proporcionará la tensión requerida al circuito.



**Figura 48:** Bornera de tres vías

Las borneras son conectores que permiten conectar y desconectar el cable de otros cables o de dispositivos eléctricos. En los bornes enchufables la parte que se conecta al cable se puede conectar y desconectar sin necesidad de soltar el cableado o desoldar el conector de la placa.

##### 8.4.1.2. Relés

Para el accionamiento de las electroválvulas y las bombas se requiere de un circuito que funcione como interruptor por ello se ha decidido instalar en el circuito 9 relés. Se han utilizado 3 relés finder 40.52s para el control de las dos bombas y 6 relés finder 30.22.7.012.0010 para el control de las seis electroválvulas instaladas.

El relé o relevador es un dispositivo electromagnético que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico.

Un relé está compuesto por una bobina, una armadura metálica y un grupo de contactos. Cuando se alimenta la bobina se crea un campo magnético que atrae la armadura que, acercándose al núcleo de la bobina, mueve los contactos del relé efectuando la conmutación.

Los relés que se utilizan en el circuito necesitan una tensión de alimentación de 12 voltios.

Estos tienen 8 patillas, dos de ellas están conectadas a cada extremo del hilo que

envuelve la bobina, una se conectará a los 12 voltios, el voltaje de alimentación y la otra irá conectada a un puerto del USB de National Instruments. Éstas son, según el esquema de los relés, las patillas A1 y A2. Las 6 patillas restantes (11, 12, 14, 21, 22 y 24) son los contactos. En cada relé hay 2 contactos normalmente abiertos (patillas 14 y 24) y 2 contactos normalmente cerrados (patillas 12 y 22), cuando el USB-6009 envíe una señal a la bobina se moverán los contactos comunes (patillas 11 y 21) cerrando los contactos N.A. y abriendo los N.C..

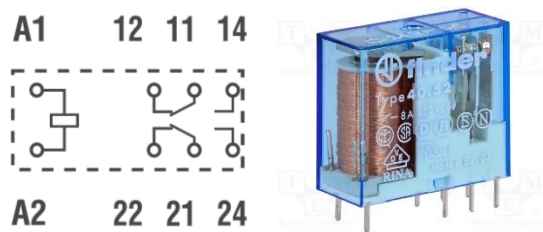


Figura 49: Circuito interno y componente Finder 40.52s

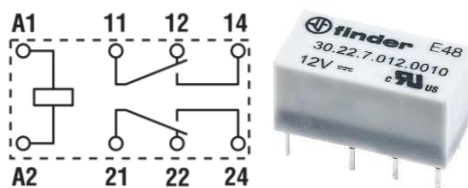


Figura 50: Circuito interno y componente Finder 30.22.7.012.0010

#### 8.4.1.3. Leds y resistencias

Para tener una referencia visual del estado de las electroválvulas se ha instalado en el circuito 9 leds, diodos que emiten luz. 6 leds rojos indican si cada una de las electroválvulas está abierta o cerrada y los 3 restantes, de color verde, indican el estado de las bombas.

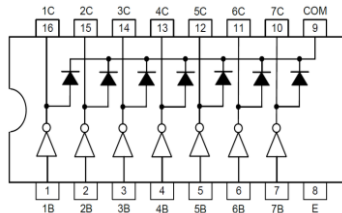
La caída de voltaje, el voltaje necesario para el funcionamiento del LED, de los leds rojos y verdes, es generalmente de entre 1,5 y 1,8 voltios con un rango de corriente determinado por el fabricante de 0.015 amperios.

#### 8.4.1.4. ULN2003a

El ULN2003A es un chip que contiene siete transistores NPN Darlington capaces de soportar 500mA y 50V de salida. Cuenta con diodos de retorno de cátodo común para

la conmutación de cargas inductivas.

La señal que proporciona el USB a sus puertos es de 5 voltios, no suficientes a los 12 voltios que necesitan los relés. Por ello se han utilizado dos chips ULN2003A para la alimentación de los 9 relés finder que controlan las bombas y las electroválvulas. Estos chips recibirán la señal de los puertos de E/S del NI USB-6009 y la amplificarán a 12 voltios para la conmutación de la bobina de los relés.



**Figura 51:** Circuito interno chip ULN2003a

#### 8.4.2. Esquema eléctrico

El circuito se ha diseñado con el programa Altium Designer.

Para su diseño se ha realizado un schematic, una representación de los elementos de un sistema mediante símbolos dónde se determinan las conexiones que debe haber entre los componentes electrónicos.

Como se ha mencionado anteriormente y se puede ver en el esquema, la placa está compuesta por 10 conectores borne de diferentes tamaños que permiten conectar el cableado de los dispositivos del sistema hidráulico con la aplicación de control de LabVIEW desde la placa electrónica.



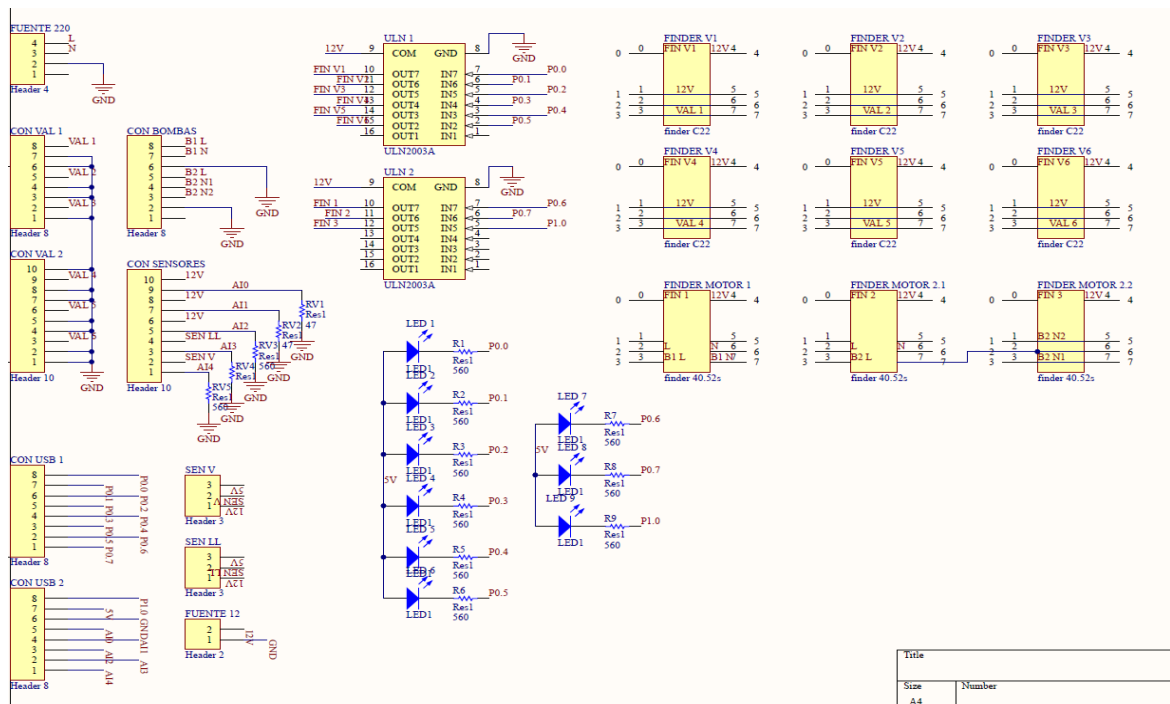


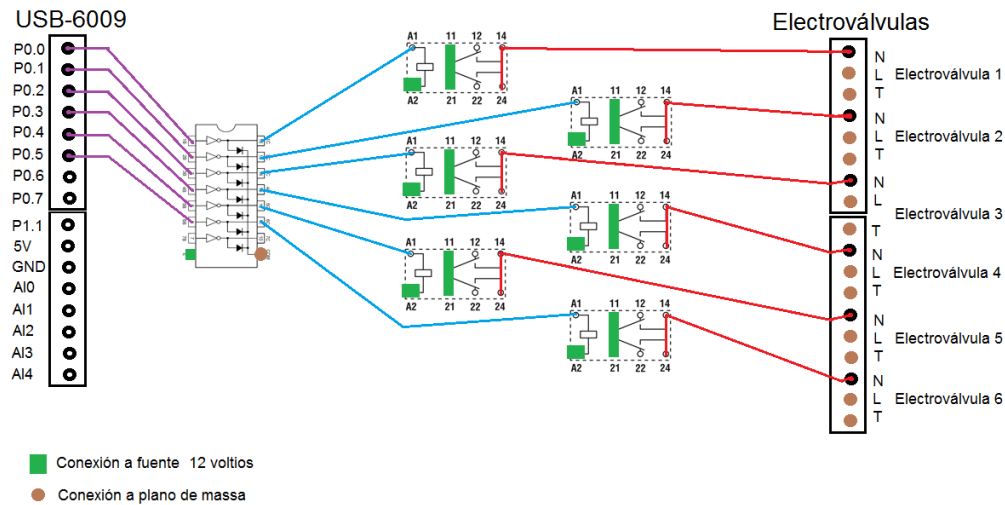
Figura 52: Schematic circuito electrónico

#### 8.4.2.1. Conexión fuente de alimentación

En una bornera simple de 4 vías se conectan los 3 terminales de la fuente de alimentación que proporcionan 120 vatios, el terminal de línea, el neutro y la tierra. En una segunda regleta de 2 vías se conecta la alimentación de 12 voltios que también genera la fuente y su correspondiente conexión a tierra.

#### 8.4.2.2. Conexión USB-6009 - Electroválvulas

Dos conectores de 8 vías se conectan con los terminales del USB-6009. En la primera regleta están los puertos digitales de E/S P0.0, P0.1, P0.2, P0.3, P0.4, P0.5, P0.6 y P0.7 y en la segunda regleta están el puerto digital de E/S P1.0, la conexión de 5V, la conexión de tierra y las entradas analógicas AI0, AI1, AI2, AI3 y AI4.



**Figura 53:** Esquema conexión electroválvulas

Para el conexionado de las electroválvulas se utilizan dos borneras enchufables, una de 8 vías y otra de 10 vías. Cada electroválvula hace uso de 3 vías, una regula su posición de abierta/cerrada y la alimenta, y otras 2 que corresponden a su línea neutra y su conexión a tierra. Estas dos últimas irán conectadas al plano de masa de la placa.

Dentro del circuito, para cada electroválvula se conecta la vía que regula su alimentación en el contacto normalmente abierto de un finder 30.22.7.012.0010 que tiene su contacto común conectado a 12 vatios. Como sólo se hace uso de una fila de conectores del finder, se conectan los dos conectores de igual tipo y así tener mayor tensión de accionamiento.

La alimentación de la bobina de finder irá regulada en un extremo por la fuente de 12 voltios y por el otro por la señal amplificada del ULN2003a que se recibirá del dispositivo USB.

#### 8.4.2.3. Conexión USB-6009 – Bombas

Para el accionamiento de la bomba de una sola dirección de bombeo se conectan los contactos N.A. del relé 40.52s a las dos líneas de la bomba y el contacto común ira conectado a la fuente de 120 voltios.

En cambio, para el accionamiento de la bomba de dos direcciones de bombeo el conexionado es diferente.

Un primer relé encenderá o apagará la bomba y el segundo solo funcionará si el primer

relé está accionado y elegirá el sentido de bombeo de la bomba. El primer relé, con conector común a 120 voltios tendrá uno de sus conectores N.A. a la línea del motor de la bomba y el otro contacto N.A. irá conectado con el conector común del segundo relé. De esta forma solo se transmitirán los 120 voltios al segundo relé si el primer relé está accionado.

El segundo relé tendrá uno de sus conectores N.A. a la línea neutra 1 de la bomba y su correspondiente conector N.C. a la línea neutra 2 de la bomba. De esta forma se elegirá el sentido del motor de la bomba.

Como las electroválvulas la alimentación de la bobina de finder de ambas bombas se regulará en un extremo por la fuente de 12 voltios y por el otro por la señal amplificada del ULN2003a que se recibirá del dispositivo USB.

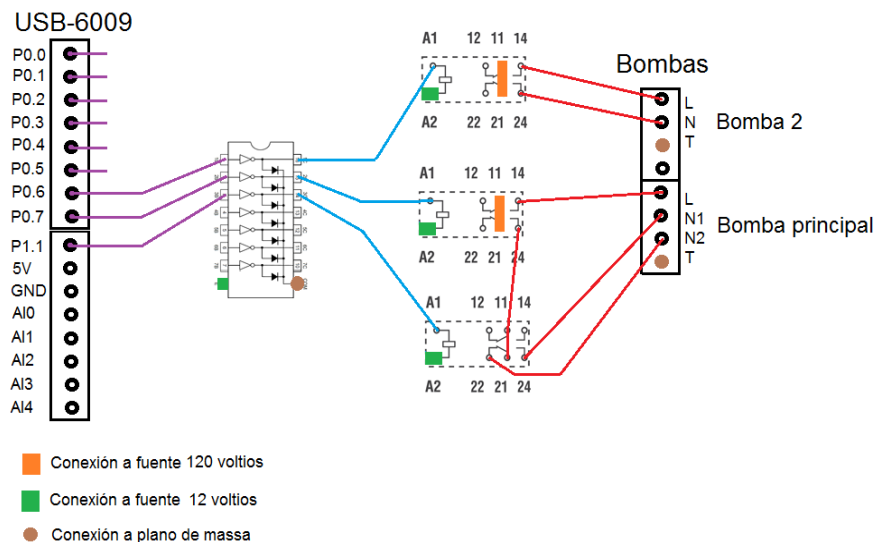


Figura 54: Esquema conexión bombas

#### 8.4.2.4. Conexión USB-6009 – Leds

Tal como se ha mencionado anteriormente se han instalado 9 leds que permiten visualizar el estado de las electroválvulas y las bombas.

Estos se alimentarán con los 5 vatios que proporciona el USB-6009 e irán conectados a una resistencia que recibirá la señal de los puertos del USB.

Cuando se recibe una señal del puerto (a 5V) la diferencia de voltaje es nula y el led permanece apagado. Al no recibir señal la alimentación del led hace que la diferencia de voltaje sea de 5 voltios y este se enciende indicando que la electroválvula (normalmente abierta) permanece abierta.

Teniendo en cuenta la ley de Ohm  $V=I \cdot R$  y los datos del fabricante de los leds, la resistencia que se ha considerado adecuada para el circuito led es de 560 Ohmios.

#### 8.4.2.5. Conexión USB-6009 – Sensores

En el sistema hidráulico solamente hay un sensor de presión instalado pero no se descarta la posibilidad de instalar más. Por ello, al circuito se le ha añadido la conexión de 5 sensores.

Una de las borneras del circuito, de 10 vías se utiliza para los sensores. Cada sensor utiliza dos vías, una a la que llegan 12 voltios de la fuente de alimentación para alimentarlo y la segunda que va a la vía de la entrada analógica del USB-6009 y tiene conectada una resistencia de 47 Ohmios que permite calcular el voltaje de la señal eléctrica generada para obtener el valor de presión.

#### 8.4.3. Montaje final

Después de determinar las conexiones mediante el schematic, se realizó el PCB del circuito, también en Altium Designer.

En PCB se determina la posición de cada uno de los componentes del circuito y el lugar dónde pasarán las pistas conductoras.

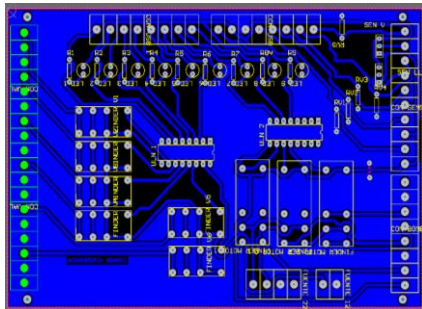


Figura 55: Circuito PCB de la placa diseñada

Cuando el PCB ya está listo se imprimió y se llevó al servicio técnico de la EPSEVG dónde se imprimió sobre una placa virgen laminada de cobre.

Luego, se perforó la placa con una broca de 1 o 1,5 milímetros en los puntos dónde se tenían que insertar los componentes electrónicos, se soldaron a la base de esta y se realizó el conexionado con todos los elementos del sistema hidráulico y el NI USB-6009 tal como se indica en el schematic.

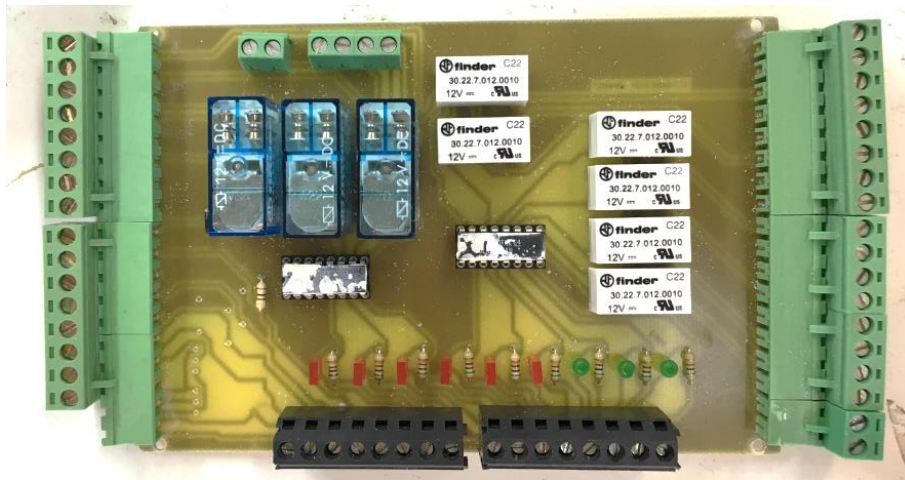


Figura 56: Placa electrónica diseñada

Para la protección de la placa se adecuó una caja para ponerla dentro junto con la fuente de alimentación y el dispositivo USB. Se le hicieron varios orificios a la caja para poder conectar los elementos exteriores sin tener que sacar la placa y para conectar un enchufe que pudiera alimentar la fuente de tensión desde el exterior de la caja.

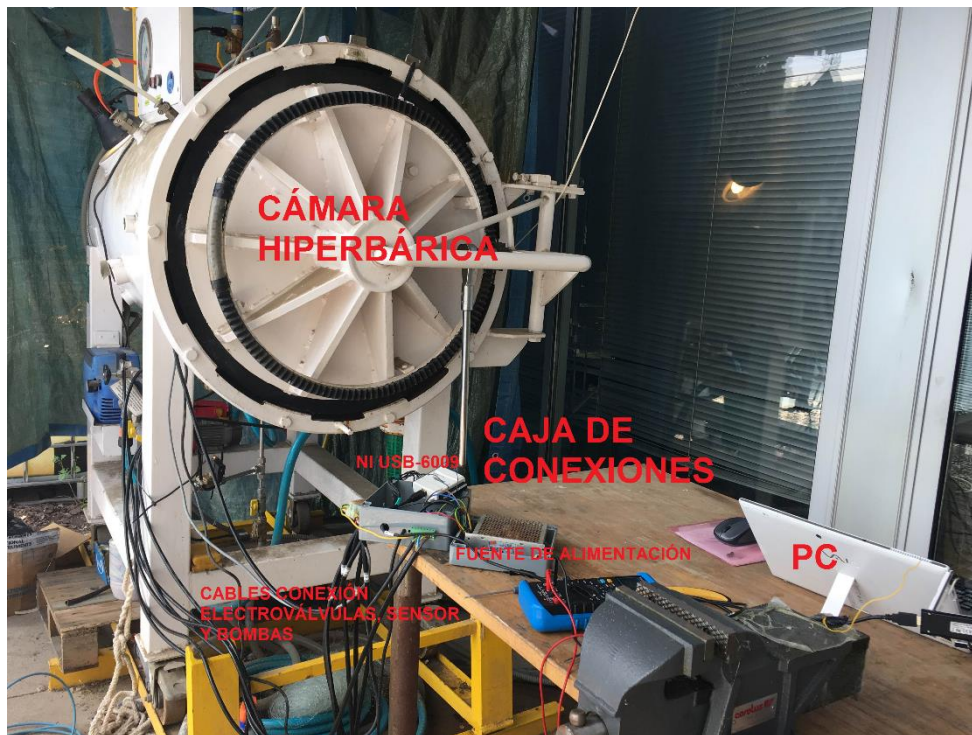
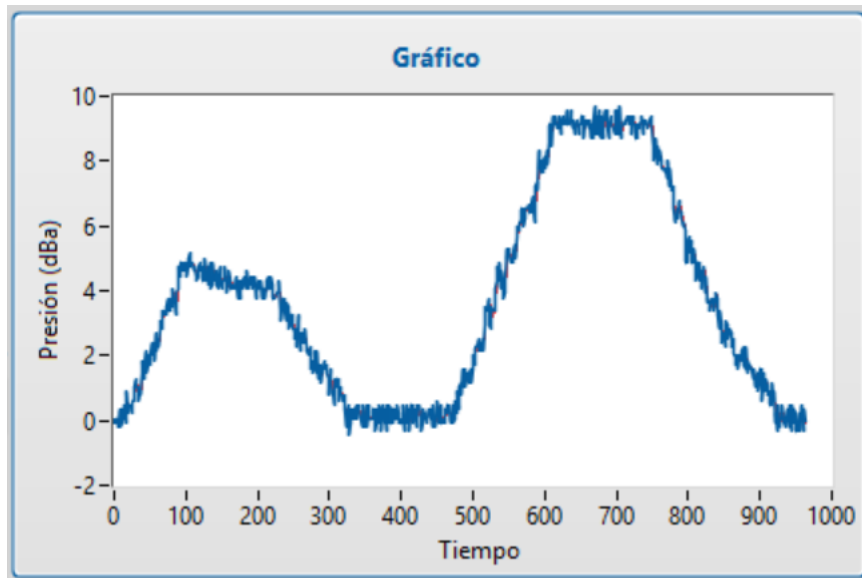


Figura 57: Sistema de control

Se realizaron varias pruebas y se fue modificando el programa de LabVIEW para conseguir unos resultados más precisos.

En la figura 58 se puede ver el gráfico del resultado de la última prueba.



**Figura 58:** Gráfico prueba de presión

Cómo se puede observar, se han conseguido unos valores bastante aproximados al resultado deseado.

## 9. CONCLUSIONES

La elaboración del sistema de control se podría dividir en cinco partes, el estudio del funcionamiento de la cámara hiperbárica, el diseño del sistema hidráulico, el diseño del sistema de control, el diseño de la aplicación de control en lenguaje LabVIEW así como el montaje y las pruebas de funcionamiento de todo el sistema de control.

El estudio y aprendizaje del funcionamiento de la cámara hiperbárica fue uno de los primeros pasos y más importantes dado que gran parte del proyecto dependía de los parámetros recogidos.

Para el diseño del sistema hidráulico se utilizaron electroválvulas normalmente abiertas de una sola dirección que permitieron un buen control remoto del llenado y vaciado de la cámara. En una primera instancia se colocaron las electroválvulas 1 y 2, las que llenan y vacían la cámara, en paralelo pero la electroválvula 2 no se accionaba correctamente dado que las electroválvulas que únicamente permiten el flujo del agua en una dirección solo se accionan si el flujo circula en el sentido de esta. Por lo tanto se acabaron poniendo en serie en direcciones opuestas.

Gracias a la aplicación LabVIEW se consiguió diseñar una aplicación de control de fácil manejo y muy didáctica para que cualquier persona sin conocimientos previos sobre LabVIEW pudiera realizar los ensayo. LabVIEW permitió que los ensayos se pudieran realizar en diferentes modos de control, como según la norma empleada, estipulando todo los valores de presión, tiempo y muestras deseados o mediante el accionamiento de cada una de las electroválvulas mediante botones o seleccionando el estado de funcionamiento de la cámara.

Para la comunicación entre el sistema hidráulico y la aplicación de control se diseñó el sistema de control, la placa electrónica diseñada en Altium Designer y sus componentes electrónicos. Para la alimentación de las electroválvulas se utilizaron chips ULN2003a que amplificaban la señal de 5V generado por el USB a 12V. Al alimentar a 4 electroválvulas o más a la vez los chips se calentaban y se estropeaban, por lo tanto se añadieron 6 relés que soportaban el voltaje de alimentación de todas las electroválvulas. Se realizó una segunda placa electrónica en la que se conectó un relé a cada electroválvula y se pudieran añadir 4 sensores más en caso necesario.

En el ámbito personal con este proyecto he aprendido el funcionamiento de una cámara hiperbárica, a diseñar placas electrónicas con Altium Designer y profundizar mis



Automatización de los ensayos en cámara hiperbárica en los laboratorios del observatorio Obsea conforme la norma NF X10-812-2013

Alsamora Borraz, Emma

conocimientos de programación con LabVIEW, así como a utilizar un dispositivo USB de National Instruments para comunicar el aplicativo con elementos eléctricos.

He aprendido de forma directa la importancia que tiene la electrónica en la actualidad y a aplicar muchos de los conocimientos teóricos aprendidos a lo largo del grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática en situaciones prácticas.

Me ha gustado mucho tener la oportunidad y realizar este proyecto ya que gracias a su elaboración he podido conocer en profundidad una de las ramas de la Ingeniería Industrial que me ha generado gran interés y motivación para seguir trabajando y aprendiendo en ella.



## **10. AGRADECIMIENTOS**

A Joaquín del Río, tutor del proyecto y jefe de proyectos del grupo SARTI, por darme la oportunidad de realizar este proyecto, guiarme en la elaboración y darme las pautas para su desarrollo.

Al grupo de investigación SARTI que me ha permitido hacer uso de sus instalaciones y material de trabajo y realizar el proyecto de automatización a la cámara hiperbárica que realiza los ensayos de presión al material que se utiliza en su proyecto OBSEA. Me ha proporcionado todo el material que se ha necesitado en el montaje de todo el sistema.

A Marc Nogueras, técnico ingeniero del grupo SARTI por enseñarme el funcionamiento del sistema hiperbárico y ayudarme en la realización de los ensayos de presión y en la elaboración de los esquemas eléctricos de la placa electrónica.

También me gustaría agradecer al Servicio Técnico de la UPC, concretamente a German Morillo y Oscar De Sousa, por la ayuda recibida sobre las dudas en el funcionamiento de Altium Designe y la impresión del circuito electrónico.

Por último quiero agradecer a la Universidad Politécnica de Catalunya y a los profesores que he tenido durante el grado que me han aportado todos los conocimientos que me han permitido salir al mundo laboral con buenas competencias en el sector de la Ingeniería.

## 11. BIBLIOGRAFIA

A continuación se introduce una lista con los documentos consultados para la realización del proyecto:

- [1] Apuntes SIIN del profesor Joaquín del Río – Universidad Politécnica de Vilanova y la Geltrú.
- [2] SARTI - Centro de Desarrollo Tecnológico de Sistemas de Adquisición Remota y Tratamiento de la Información. [En línea]. Disponible en: [http://cit.upc.edu/es/centros\\_upc/centro/45/sarti\\_upc](http://cit.upc.edu/es/centros_upc/centro/45/sarti_upc)
- [3] Observatorio submarino de Vilanova i la Geltrú - Sobre OBSEA. [En línea]. Disponible en: <http://www.upc.edu/cdsarti/OBSEA/>
- [4] Iberco, fabricante de cámaras hiperbáricas - Cámaras hiperbáricas para investigación. [En línea]. Disponible en: <http://www.iberco.es/camaras-hiperbaricas/investigacion.aspx>
- [5] Iberco, fabricante de cámaras hiperbáricas - Catálogo cámaras hiperbáricas. [En línea]. Disponible en: <http://www.iberco.es/>
- [6] LabVIEW – Software de programación. [En línea]. Disponible en: <http://www.ni.com/academic/students/learn-labview/esa/>
- [7] Altium – Software para el diseño de circuitos Electrónicos. [En línea]. Disponible en: <http://www.altium.com/company/about-altium/about-us>
- [8] Wikipedia, la enciclopedia libre - Altium Designer (traducción). [En línea]. Disponible en: [https://en.wikipedia.org/wiki/Altium\\_Designer](https://en.wikipedia.org/wiki/Altium_Designer)
- [9] Eugen Gassmann, Anna Gries - ¿Cómo funciona un transmisor de presión? Extracto de “Elektronische Druckmesstechnik”. [En línea]. Disponible en: <http://www.bloginstrumentacion.com/blog/2010/06/28/como-funciona-un-transmisor-de-presion/>
- [10] Manel XPS Equipos - Bornes y conectores. [En línea]. Disponible en: <http://manuelxpsequipos.blogspot.com.es/2015/01/bornes-y-conectores.html>

- [11] Wikipedia, la enciclopedia libre - Los relés. [En línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Rel%C3%A9>
- [12] Wikipedia, la enciclopedia libre - La electroválvula. [En línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Electrov%C3%A1lvula>
- [13] Creative Commons BY\_NC\_SA - Introducción a los relés. [En línea]. Disponible en: <http://www.inventable.eu/introduccion-a-los-reles/>
- [14] Farnell - Datasheet Finder 30.22. [En línea]. Disponible en: <http://www.farnell.com/datasheets/1817221.pdf>
- [15] Wikipedia, la enciclopedia libre - ULN2003A. [En línea]. Disponible en: <https://en.wikipedia.org/wiki/ULN2003A>